



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!



INETER

Instituto Nicaragüense
de Estudios Territoriales

MARENA

Ministerio del Ambiente
y los Recursos Naturales

NUEVO FISE

Expresión del Poder Ciudadano

ENACAL

(Una empresa del Pueblo)

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados



Autoridad Nacional del Agua

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

PROATAS

Programa de Asistencia Técnica
en Agua y Saneamiento

CRÉDITOS

Coordinación Grupo Interinstitucional

José Milán
Asesor Científico de INETER

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)

Coordinación Técnica:

Isaias Montoya
Dir. Gral de Recursos Hídricos

Personal Técnico:

Ramón Dávila
Director de Hidrogeología

Silvia Martínez
Directora de Hidrología

Socorro Sotelo
Asesora Dirección de Recursos Hídricos

Manuel Arriola
Hidrogeólogo

Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Personal Técnico:

Carlos Barberena
Director de Concesiones

Fondo de Inversión Social y Emergencia (FISE)

Personal Técnico:

Jamil Robleto
Asesor Hidrólogo

Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales (MARENA)

Coordinación Técnica:

Marcía Estrada
Directora de Recursos Hídricos

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)

Coordinación Técnica:

José Iván García
Director Planificación

Reynaldo Castaño
Gerente de Operaciones

Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento (PROATAS) de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en Nicaragua

Coordinación General

Dinora Somarriba
Asesora Principal Componente 2

Coordinación Técnica:

Francis Rivera González
Asesora local Componente 2

Diseño y Diagramación:

Marina Toruño Pérez

CRÉDITOS

Personal Técnico:

Karen Baltodano
Consultora SIG

Marvin Corriols
Consultor Hidrogeólogo

Juan José Gutiérrez
Asesor Local Componente 2

Reinhart Koschel
Consultor Hidrogeólogo

Fernando Mendoza
Consultor SIG

Gabriela Murillo
Consultora Hidrogeóloga

Humberto Vallecillo
Consultor Desarrollo Rural Sostenible

Colaboración Especial:

Inge Beck
Investigadora Escenarios para la Adaptación al Cambio Climático

Este documento también contó con el aporte del personal técnico de las unidades de agua y saneamiento y ambiental de las alcaldías que conforman la Cuenca 64.

CONTENIDO

A. INTRODUCCION	10
1 Objetivo	12
2 Marco legal e institucional	13
3 Metodología	14
4 Desarrollo de capacidades	15
5 Resultados de estudios anteriores	17
6 Limitaciones de este estudio	23
B. DIAGNÓSTICO	25
1 Descripción general de la cuenca	25
1.1 Características físicas	25
1.2 Características administrativas y demográficas	50
2 Meteorología	58
2.1 Precipitación	58
2.2 Temperatura	67
2.3 Evaporación	68
2.4 Humedad relativa	69
2.5 Correlaciones	70
3 Agua Superficial	73
3.1 Red hidrológica	73
3.2 Estado actual cuantitativo y cualitativo de las aguas superficiales y sus fuentes de contaminación	76
4 Agua Subterránea	94
4.1 Acuíferos y su potencial	94

4.2	Estado actual cuantitativo y cualitativo	107
4.3	Monitoreo de las aguas subterráneas	132
5	Consumo y Demanda	133
5.1	Consumo y demanda de agua potable	133
5.2	Consumo del sector agroindustrial	137
5.3	Prospección de demanda	142
5.4	Gestión de la demanda	145
6	Balance Hídrico	148
6.1	Cálculo de las variables del balance hídrico	149
6.2	Balance de agua subterránea	165
6.3	Aproximaciones	187
6.4	Balance hídrico de oferta y demanda de aguas subterráneas	193
7	Situación del suministro de agua potable y saneamiento	194
7.1	Suministro rural	194
7.2	Suministro urbano	197
8	Situación de las aguas residuales	202
9	Situación de los desechos sólidos	219
10	Conservación y protección	234
11	Intervención artificial en el régimen natural de las agua	241
12	Análisis y evaluación del estado de los recursos hídricos (Conclusiones)	247
12.1	Disponibilidad y reservas de agua	247

12.2	Calidad de agua	248
12.3	Impactos del cambio climático	249
13	Recomendaciones	261
C.	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DE RECURSOS HIDRÍCOS	262
D.	ANEXOS	273
1	Tablas:	273
1.1	Caudal de los ríos	273
1.2	Resultados de los parámetros físicos químicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64	276
1.3	Resultados de los análisis físicos químicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64	278
1.4	Resultados de los análisis bacteriológicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64	280
1.5	Situación de las aguas residuales	281
2	Mapas temáticos	282
2.1	Mapa de puntos de muestreos de aguas superficiales	282
2.2	Mapa de puntos de muestreos químicos de aguas subterráneas	282
D.	Referencias	283

A. INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo enfrenta una grave crisis, por no ser capaz de manejar sosteniblemente los recursos hídricos. Una gran parte de la población no cuenta hoy día, con agua en cantidad y calidad suficientes, como para lograr su pleno desarrollo.

La creciente demanda de agua dulce, a causa del crecimiento poblacional y urbano, mejoramiento del nivel de vida, aumento de las áreas productivas agrícolas e industriales, no pueden ser cubiertas debido a la variabilidad del clima, sequía, desertificación, salinización, contaminación y otros factores que reducen su disponibilidad, lo que plantea un panorama incierto para los próximos años, por lo que la presión sobre los recursos hídricos seguirá aumentando.

Informes de la Organización de las Naciones Unidas, han hecho ver que la degradación de los ecosistemas relacionados con el agua, sigue en aumento, por lo que los volúmenes disponibles en algunos ríos y lagos se han reducido considerablemente, mientras que en los acuíferos de las zonas costeras, aumenta la contaminación y salinización de aguas subterráneas.

Nicaragua, por el hecho de disponer de abundantes recursos hídricos, es considerada en una situación privilegiada, respecto a las demás naciones centroamericanas, pues dispone de unos 38,668 m³ de agua/habitante/año (FAO-Aquastat, 2003). Sin embargo debido a la problemática que enfrenta para mantener la disponibilidad y calidad para el consumo humano, se le considera como un país con escasas económicas de agua (International Water Management Institute, 2007).

A partir del año 2007, se crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en Nicaragua, como una respuesta gubernamental a la problemática existente alrededor de la gestión de los Recursos Hídricos en el país, con el mandato de fortalecer el marco institucional promovido por la Ley General de Aguas Nacionales, aprobada ese mismo año. Para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) se considera a las cuencas hidrográficas como las unidades de referencia, donde se interpreta la oferta, demanda y suministro de agua, así como el manejo y conservación de los recursos hídricos disponibles.

El Ministerio Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) encargó a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, (Agencia Alemana de Cooperación Internacional) asesorar a la Autoridad Nacional del Agua en la elaboración y realización de Planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH) en algunas cuencas seleccionadas en el país, a través del Programa de Asistencia Técnica de Agua y Saneamiento (PROATAS).

El componente 2 de PROATAS, ha venido colaborando con ANA en la implementación del concepto de GIRH en las subcuencas del río Mayales (departamento de Chontales) y la Cuenca 72 (Entre río Brito y río Sapoá, en el departamento de Rivas) y últimamente con la colaboración de otras instituciones más, como MARENA, ENACAL, INETER, y FISE, en la Cuenca 64: Entre el volcán Cosigüina y río Tamarindo (departamentos de León y Chinandega). Con este trabajo colaborativo e interinstitucional, se ha logrado disponer de instrumentos prácticos que garanticen la gestión de los recursos hídricos y su inclusión en los planes y estrategias de desarrollo municipales.

Dentro del proceso de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, se contempla la realización de un diagnóstico enfocado en el estado actual de la cuenca, para lograr priorizar y decidir las posibles acciones orientadas a mejorar la calidad de los recursos hídricos y el uso sostenible de los mismos.

La cuenca 64 posee un gran potencial hídrico y de allí se deriva su importancia económica, especialmente para el sector productivo agropecuario de la región de occidente del país. Al mismo tiempo ha demostrado una gran vulnerabilidad ante eventos originados por el cambio climático, ha dado muestras de contaminación de los cuerpos de agua subterráneos y superficiales debido al mal manejo de los desechos sólidos y líquidos (incluyendo el uso de agroquímicos) y sus reservas se ven amenazadas por la falta de control en la extracción de agua para riego.

El diagnóstico sobre el estado actual de los recursos hídricos en la Cuenca 64: Entre volcán Cosigüina y río Tamarindo, representa el esfuerzo coordinado entre las instituciones del sector público a cargo de mejorar el uso sostenible del agua y las municipalidades de los departamentos de León y Chinandega, para definir medidas y acciones conjuntas, encaminadas a mejorar la gestión de los recursos hídricos.

1. Objetivo

En Nicaragua, en el período comprendido entre el año 1960 y 1972, se delimitaron 21 cuencas y 218 subcuencas hidrográficas (estas últimas utilizadas sin publicación oficial). A partir del año 2014, INETER adaptando la metodología Pfafstetter, ha llegado a definir hasta 517 unidades hidrográficas a nivel nacional, para facilitar la gestión integrada de los recursos hídricos, tal y como lo rige la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620).

Todas ellas presentan diferentes situaciones, respecto al estado actual de las aguas subterráneas y superficiales; balances hídricos; oferta, demanda y suministro; cantidad, calidad y disponibilidad; degradación y conservación. Por tal razón, la cuenca 64 necesita un instrumento que permita identificar los principales elementos que interactúan para determinar las potencialidades y limitaciones en el manejo de los recursos hídricos, para posteriormente facilitar la toma de decisiones y la programación de acciones que garanticen su conservación y uso adecuados. El diagnóstico, representa ese instrumento y se plantea como objetivos principales los siguientes:

OBJETIVOS DEL DIAGNOSTICO

1. Integrar y actualizar la información sobre la Cuenca 64.
2. Definir de forma participativa medidas correctivas y de regulación que permitan garantizar el uso sostenible y equitativo, así como una buena calidad del agua, mejorando la resiliencia de la cuenca frente a los posibles impactos del cambio climático.

2. Marco legal e institucional

El marco legal de la Gestión Hídrica en Nicaragua está regulado desde diferentes aspectos: uso, aprovechamientos, vertidos, agua potable, saneamiento y la gestión hídrica ambiental; para tal efecto la Ley 290, "Ley de organización y competencias del Poder ejecutivo", y sus reformas, ha establecido funciones y competencias a los diferentes ministerios, instituciones entes descentralizados y centralizados para proteger y resguardar el recurso hídrico en Nicaragua.

En este capítulo se hace énfasis en el marco legal bajo el cual se sustenta la elaboración de los diagnósticos de los recursos hídricos de las unidades hidrográficas de Nicaragua siendo el principal objetivo de este documento.

La Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620) señala como una función normativa de la Autoridad Nacional del Agua, la elaboración de Planes de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Esta Ley y su Reglamento ponen énfasis en la gestión integrada del recurso a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país; siendo los diagnósticos la base técnica para la elaboración de estos planes de GIRH.

De conformidad al Arto 27 inc. e, la Ley 620 señala que los diagnósticos son construidos a través del monitoreo constante de la calidad y cantidad de los recursos hídricos, lo que da paso a la construcción del Sistema de Información de los Recursos Hídricos, (Arto. 27, inc. e, Ley 620) que constituyen la base fundamental para la Gestión Integrada del Agua como matriz para el desarrollo de los planes de GIRH (capítulo III, Arto. 15, Ley 620). Contar con un diagnóstico hídrico completo de la cuenca nos permite determinar el estado actual de los recursos hídricos con datos confiables y actualizados.

El diagnóstico es la base fundamental para la elaboración de los Planes de GIRH, y le corresponde a los organismos de cuencas conformados por los representantes de las instituciones del estado, (ANA, MARENA, MAG, INETER, MINSA, ENACAL, Nuevo FISE y Alcaldías Municipales) controlar y vigilar el uso y aprovechamiento de las aguas, en sus cuencas respectivas (Arto. 33, Ley 620 y Arto. 12 decreto 44-2010).

Del mismo modo, las empresas privadas y los usuarios de aguas de la cuenca, están llamadas a participar en la elaboración de los planes de GIRH en el ejercicio de participación ciudadana a través de los comités de cuencas (Arto. 35 y 36, Ley 620).

3. Metodología

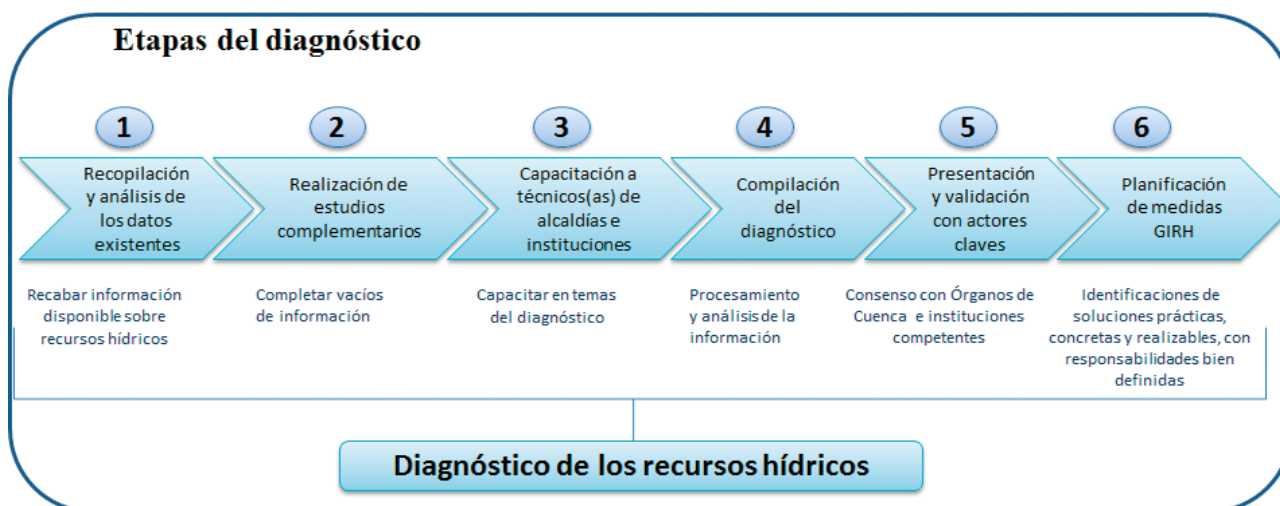
La metodología para la elaboración del diagnóstico de los Recursos Hídricos, es la misma que ha sido desarrollada por ANA en la elaboración de los planes de gestión integrada de los recursos hídricos de dos cuencas pilotos: Cuenca 72 (Entre río Brito y Sapoá) y la subcuenca Mayales.

Ambos planes integran como una de sus partes más importantes el diagnóstico, cuyos resultados determinan la línea base del estado cuantitativo y cualitativo de los recursos hídricos y uso. En la figura 1, se refleja el proceso metodológico del diagnóstico:

La fase del diagnóstico, está compuesta por las siguientes etapas:

- Recopilación y análisis de los datos existentes
- Realización de estudios complementarios
- Capacitación a personal técnico municipal de las diez alcaldías e instituciones del sector agua (MARENA, ANA, INETER, ENACAL, FISE)
- Compilación del diagnóstico
- Presentación y validación con actores claves
- Planificación de medidas derivadas del diagnóstico, para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

Figura 1. Proceso metodológico del diagnóstico



4. Desarrollo de capacidades

En la realización de las diferentes etapas del diagnóstico, se desarrollaron capacidades en el personal técnico de las municipalidades e instituciones contrapartes, para fortalecerlas en sus capacidades de gestión y actuación, cumplir con las acciones propuestas e incidir directamente en la sostenibilidad de las mismas.

Abarcó el desarrollo de competencias técnicas individuales e institucionales, utilizando los siguientes procesos y metodologías:

- Talleres de capacitaciones.
- Cursos.
- Aprender haciendo: asesoría directa y práctica.

Los temas específicos brindados al personal técnico municipal fueron los siguientes (**fotos 1 y 2**):

- Introducción a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.
- Metodología en aforos líquidos.
- Medición de aguas subterráneas.
- Asesoría en compra de equipos para medición de calidad de agua.



Foto 1: Capacitación a técnicos municipales en aforos de ríos, julio 2016.



Foto 2: Capacitación a técnicos municipales en medición de agua subterránea, agosto 2016.

Al personal técnico de las instituciones (MARENA, ANA, INETER, ENACAL Y FISE) fueron brindados los siguientes temas (**foto 3**):

- Métodos de balance hídrico aplicados a la Cuenca 64.
- Uso y manejo de base de datos hídricos. Primer y segundo módulo.
- Intercambio de experiencias entre GIZ e INETER en selección de sitios para medición de flujo base.



Foto 3: Capacitación en cálculo de balance hídrico a grupo institucional, noviembre 2016

5. Resultados de estudios anteriores

Este capítulo se basa en una revisión de los estudios hídricos más importantes realizados en la Cuenca 64. Se analizó la información disponible haciendo énfasis en los recursos hídricos. La revisión se concentró en primer lugar en los estudios realizados por CATASTRO Y RECURSOS NATURALES (1970) y MAGFOR / INETER (1999).

Cabe mencionar que la mayor parte de la información presentada en este capítulo procede del estudio "MAGFOR / INETER (1999). "Hidrología e Hidrogeología en la zona Chinandega - León - Nagarote", ya que es el informe que cuenta con los datos más importantes para la elaboración del diagnóstico de los recursos hídricos de la Cuenca 64.

CATASTRO Y RECURSOS NATURALES (1970). The water resources of Nicaragua. Final technical report, VOL II

El estudio tiene una duración de 2 años y medio (entre 1967 y 1970) y presenta resultados de investigaciones en climatología, hidrología e hidrogeología con enfoque sobre la región del Pacífico. Este estudio fue uno de los primeros estudios hidrogeológicos en Nicaragua y tenía, entre otros, el propósito de instalar y formar una sección hidrológica e hidrogeológica en la Dirección Ejecutiva de la Oficina del Catastro y Recursos Naturales.

En este documento se encuentra una tabla (III-B-22, Tabla 16) con un año completo de escorrentía media diaria (1968/69) que es la única información detallada que tenemos sobre escorrentía en el área de estudio. También está incluido un estudio detallado del área de Nagarote - La Paz Centro - río Tamarindo y un capítulo más descriptivo sobre la planicie de Nagrandano. En esta última zona había iniciado un proyecto de las Naciones Unidas.

Los resultados más interesantes relacionados al acuífero del Occidente se resumen a continuación:

Rocas del Mioceno (Formación Tamarindo) afloran a lo largo de la costa de la planicie de Nagrandano y hasta en algunas islas próximas a la costa. Estas rocas tienen fracturas importantes de dirección norte oeste. La barrera costera de rocas consolidadas del Mioceno reduce el riesgo de la intrusión marina. Sin embargo, existen lagunas erosionables locales dentro de esta barrera, que pueden permitir un movimiento del agua salina hacia tierra adentro, si los niveles operacionales en los pozos de explotación no aumentan por arriba de 0 (m.s.n.m)

La mayoría de los cauces de los ríos son efímeros, solamente tres ríos tienen flujo durante todo el año: río Atoya, río Chiquito y río Tamarindo. Durante la estación seca, el flujo de estos ríos es flujo base de origen subterráneo.

La calidad de agua (302 muestras) en la zona superior, próxima a los volcanes, era: SDT 200 (mg/l). Aguas abajo y próximo a la costa la calidad desmejoraba a 400 - 600 (mg/l) sólidos totales disueltos. En todo el área la salinidad del agua subterránea estaba compuesta por SDT entre 300 - 1600 (mg/l) con un promedio de 300 (mg/l). Las concentraciones altas de Boro fueron encontradas al oeste de Chinandega y próximo al río Atoya (0.6 - 0.9 mg/l) y al oeste de Nagarote (0.6 mg/l). En 12 pozos se encontraron concentraciones alta de flúor (0.9 - 4.0 mg/l). La concentración de nitrato en pozos excavados aumenta localmente con valores entre 45 y 341 (mg/l).

Los datos disponibles sugieren que la permeabilidad del acuífero disminuye claramente para profundidades mayores a 120 m bajo el nivel de la superficie. La descarga media por pozo perforado tiene un orden de magnitud de 1100 (GAL/min) = 4.16 (m³/min).

Como resultado de las investigaciones de Catastro y TAHAL la recarga anual del acuífero en la zona de Nagarote -León (665 km²) fue evaluado a 54 (MMC/A), y por la unidad León - Chinandega de 1160 (km²) a 244 (MMC/A).

UNDP (1973-1974) Groundwater investigation in Nicaragua. Project NIC - 8

El estudio no estuvo disponible, sin embargo se asume debe ser un estudio importante con mucha información hidrogeológica. En el margen de las investigaciones hechas por el proyecto, se descubrió la fosa profunda en la zona entre Chinandega y León. El estudio INETER 1999 ha integrado muchos de los resultados, sin ampliar muchos detalles. Sería interesante comparar las propuestas respecto al balance hídrico entre UNDP y de INETER.

MAGFOR / INETER (1999). Hidrología e Hidrogeología en la Zona Chinandega - León - Nagarote"

El estudio recopiló los datos disponibles hasta el año 1999 y trató de concretar el problema de la determinación de los recursos hídricos, utilizando herramientas geológicas, geofísicas, hidrológicas, hidrogeológicas e hidráulicas. También se elaboró un modelo tipo Modflow para una región piloto dentro del acuífero para el mejor entendimiento del sistema hidráulico. Aunque la copia disponible del estudio no es completa, la información fue suficiente para el entendimiento del funcionamiento del sistema hidráulico y para determinar puntos débiles en el estudio. Este estudio es tan amplio que es imposible resumir su contenido en este capítulo, por lo cual se hará referencia a esta investigación a lo largo del documento de acuerdo con los hallazgos encontrados.

Este estudio además incorporó los resultados de estudios anteriores importantes sobre el acuífero del Occidente. En primer lugar hay que citar el estudio de las Naciones Unidas (1974), y al parecer conocían también el estudio de Catastro porque con relación al de la subcuenca de río Tamarindo son casi idénticos.

CORRIOLS M. (1999 - 2005) Estudio geofísico e hidrogeológico para la caracterización del acuífero Chinandega León (auspiciado por SIDA SUECIA) UNAN-MANAGUA

Las investigaciones geofísicas e hidrogeológicas que se hicieron por parte de la UNAN en la región del acuífero del Occidente han dado resultados interesantes. Se descubrió que la barrera hidráulica formada por las ignimbritas de la formación Tamarindo se extiende hacia el límite NO del acuífero, cubierta por sedimentos Cuaternarios de poco espesor. Esta barrera se extiende a lo largo de la costa, a su vez bloquea, separa, y en cierto modo también protege al acuífero contra la intrusión desde el océano Pacífico. En el acuífero se distinguen dos pisos diferentes: el piso superior freático que tiene un espesor de 40 m máximo y recibe recarga directa, infiltrada desde la superficie. El piso inferior que se extiende de 40 - 250 m y recibe recarga lateral desde las laderas de los volcanes. El piso inferior se destaca por resistividades bajas que puedan indicar una alta salinización del agua. La permeabilidad del piso superior es mucho más alta que la del piso inferior.

La dataciones del agua en el piso inferior utilizando los isotopos ambientales O17/O18 indicaron un agua joven con una edad menor de 50 años. La observación fue confirmada por la presencia de Cloro-Flúoro-Carbonatos (CF 11, 12, 13) en el agua subterránea. El inicio de la producción de estas sustancias data de la fecha 50 años atrás. El piso superior se encontró contaminado por nitrato y pesticidas organoclorados como Dieldrin DDD y DDT.

PLAN ACCION de Cuencas de la Región León-Chinandega (Diciembre 2007)

Contiene mucha información geográfica, técnica y socio-económica de interés para un GIRH (tipo de riego, población, instituciones etc.). Dicho informe contiene muchos mapas con enfoque en la protección del medio ambiente. Anexos con información especial para cada subcuenca.

Los mayores problemas de la zona León - Chinandega son resumidos en: deforestación, alto grado de erosión de suelos, zonas agrícolas perdidas por formación de cárcavas. Los sistemas de monocultivos apoyados en una mecanización elevada y uso intensivo de agroquímicos. "El impacto de la dinámica productiva está convirtiendo el cercano litoral en un extenso depósito de sedimentos vulnerable contra inundaciones".

Los cauces de agua han sido transformados en vertederos por el flujo de retorno altamente contaminado.

MARENA (2008). Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y agricultura ante el cambio climático en la cuenca 64

Buena descripción y discusión de la vulnerabilidad de la zona a inundaciones y sequías. Alta vulnerabilidad a contaminación, sobre todo en el piso superior

del acuífero: "Un alto porcentaje de los pozos excavados monitoreados tienen concentraciones de plaguicidas que sobrepasan la norma de potabilidad." También se menciona vulnerabilidad del acuífero por eventos de sequía debido a que: "los procesos de infiltración decrecen al igual que el nivel freático del agua, confinándose la mayor vulnerabilidad en las zonas más bajas cercanas a las costas marinas y áreas de manglares."

En esta investigación se propone que se restrinja el uso del agua subterránea con fines de abastecimiento potable en la mayor parte del área estudiada, que estaría limitada por la contaminación agrícola donde también se aplican grandes cantidades de fertilizantes.

Desechos líquidos y sólidos se encuentran en el cauce del río Chiquito en León. El 67 % de su flujo está compuesto de aguas de alcantarillado de los 30,000 habitantes, conectados a la estación de depuración de la ciudad y aguas residuales de la industria.

En la valoración de la vulnerabilidad social destaca que los municipios que tienen una alta vulnerabilidad son: Quezalguaque, El Realejo y Posoltega; ya que en cuatro de los cinco indicadores utilizados para evaluar su vulnerabilidad experimentan severas limitaciones relacionadas con: Un alto porcentaje de población desempleada en el sector agropecuario; incipiente acceso a los servicios básicos de agua potable (en promedio 22 personas de cada 100 tienen acceso), y energía eléctrica (sólo 15 de cada 100 tienen acceso). Una tasa de analfabetismo promedio de 32.4% (3.2% mayor que el promedio de la Cuenca No. 64, que es de 29.2%).

La cobertura del servicio de salud es catalogada como "regular" (no tiene hospital, pero cuenta con centro de salud con cama y puesto de salud), con un promedio de cobertura del 55%; un nivel de pobreza menor en Quezalguaque y El Realejo (25%), y medio en Posoltega (50%), para una brecha promedio de pobreza de 33.3%.

Dentro de esta investigación se utilizó el modelo MODFLOW, considerando el fenómeno de El Niño, La Niña y años normales, para un período climático de 30 años, que fueron evaluados en conjunto con los escenarios socioeconómicos que se generen de acuerdo al futuro desarrollo de los poblados asentados sobre la Cuenca 64. También se empleó el programa WEAP tomando en cuenta información climática y de reservas del acuífero.

MARENA (2008). ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS SISTEMAS RECURSOS HÍDRICOS Y AGRICULTURA EN LA CUENCA 64

Reporta deterioro de los recursos naturales, principalmente suelos y el agua. Esto conllevará a la poca infiltración del agua. Las principales fuentes de contaminación al recurso agua de la cuenca son los agroquímicos, los desechos sólidos y líquidos en los cauces de agua superficiales.

Ambos documentos no contienen nueva información cuantitativa sobre la disponibilidad de agua subterránea.

En este estudio también se mencionan contaminantes materia orgánica, hidrocarburos, agroquímicos y plaguicidas y algunos metales como cadmio (Cd), cobre (Cu) y hierro (Fe), para dos ríos de la cuenca 64: río Tamarindo y río Brito.

De **ANA** obtuvimos información no actualizada sobre las concesiones otorgadas en la cuenca 64 (Denominada: entre el Volcán Cosigüina y hasta el río Tamarindo) para el periodo 2010 - 2013 con:

No corrido / Coordenadas / Resolución / Empresa / Uso / Tipo a regar / Año / Vigencia / Cuenca / Código / Cuenca-Sub-Cuenca / Fecha / m³ otorgada por mes y por año / m³ proyectado / estado.

En el periodo 2011 - 2014 se otorgaron 85,5 (MCM/A) en forma de toma de agua superficial y 135,2 (MMC/A) en forma de pozo perforado de agua subterránea.

INETER (2009). BOLETÍN HIDROGEOLÓGICO

De esta institución se obtuvo información adicional relacionada al monitoreo de 12 acuíferos en el lapso 2008, 2010 y 2011, incluyendo el acuífero del Occidente. Se obtuvo a través de tablas Excel con datos de los meses/años abril 2008, marzo, junio y agosto 2010 y 2011.

En el acuífero del Occidente se observaba NEA en 70 pozos. Datos: No / Tipo / Localización / Coordenadas / Propietario / Elevación / Profundidad / NEA (m) / NEA (m.s.n.m). Ph / Cond / t /.

De la información disponible, se debe distinguir entre dos diferentes períodos: el primer período que se extiende hasta 1999 y el segundo período de 2000 a 2014.

Para el primer período se cuenta con bastante información, destacan CATASTRO (1970) y MAGFOR/INETER (1999) aunque desafortunadamente no se tiene la información de UNDP (1972). Sin embargo, la información recibida por parte de MAGFOR /INETER (1999) permite comprender el funcionamiento del sistema hidráulico del acuífero del Occidente y permite también una estimación, a groso modo, de los recursos hídricos.

Para el segundo período existe muy poca información, respecto a los recursos hídricos, todos los estudios ejecutados en este período se refieren a los datos (cuestionables) publicados en MAGFOR/INETER. Ninguno de los estudios más recientes han podido verificar estos datos y se han basados en ellos. Para este período faltan casi todos los datos climáticos. La información obtenida de INETER relativa al escurrimiento superficial es incompleta y probablemente no hay más. Se desconoce por completo la explotación en el intervalo 2000 - 2014.

6. Limitaciones de este estudio

En este capítulo se trata de describir algunas limitaciones durante el proceso de la elaboración del diagnóstico y la determinación de resultados concluyentes.

Los resultados expuestos en el capítulo son estimaciones basadas en los registros disponibles hasta la finalización de los estudios de línea base hídrica utilizada para los hallazgos presentados. Cabe mencionar que muchos de estos resultados están en procesos de validación y por eso se mencionan términos como: estimaciones o aproximaciones.

Este documento servirá como base para el desarrollo de planes de trabajo más exhaustivos, ya que presenta un enfoque a nivel regional del acuífero de Occidente y de la Cuenca 64.

El capítulo de meteorología tiene registros históricos efectivos, que no van a variar mucho en próximos estudios, pero cabe señalar que sólo 3 estaciones de las 6 con información en la cuenca cuentan con registros representativos de toda el área de estudio.

Las interpretaciones de las aguas superficiales, especialmente las realizadas a partir de los datos disponibles de escorrentía a nivel diaria y mensual son bien limitadas, por la cantidad reducida de datos disponibles. La alta intervención del acuífero y de la cuenca provocada por una alta extracción de agua superficial y subterránea sin una regulación, limita la realización de medición en ríos y pozos y la determinación del valor de la demanda.

La cantidad de sitios seleccionados para análisis químico de calidad de agua estuvo sujeta a limitaciones presupuestarias especialmente los análisis de plaguicidas y metales pesados que son los más costosos.

Los impactos por el cambio climático al recurso hídrico estuvieron limitados por la compilación de los pocos datos encontrados en estudios anteriores. De Loma-Ossorio et al. (2014) contiene los datos del área del Golfo de Fonseca considerados los más cercanos al tipo de información necesaria para evaluar los impactos al recurso hídrico. Para poder evaluar dichos impactos es necesario empezar a evaluar la calidad y cantidad del agua con efectos directos por el cambio de temperatura y emisión de gases en los diferentes recursos naturales en la Cuenca 64.

La modelación matemática es un paso importante, sin embargo está limitada a la calidad y cantidad de datos disponibles actualmente, siendo necesario compilar más datos hídricos en función de obtener valores más representativos del acuífero y así realizar la modelación con resultados más ajustados a la realidad de la cuenca.

Los temas relacionados a amenazas por inundación y sequía, amenazas por deslizamiento, amenaza sísmica y volcánica no son abordados en el diagnóstico de recursos hídricos; ya que técnicamente pertenecen a estudios sobre gestión de riesgos de desastres.

B. DIAGNÓSTICO

1. Descripción general de la cuenca

1.1 Características físicas

La Cuenca 64: Entre el Volcán Cosigüina y Río Tamarindo, se ubica al Noroeste del país, con una extensión territorial de 2,910.81¹ km² distribuida entre los departamentos de Chinandega (57.7%) y León (42.3%). De los 13 municipios que forman parte de la cuenca, 7 pertenecen a Chinandega y 6 a León (**ver tabla 5**). Los que más superficie abarcan son: El Viejo y León; los que menos ocupan, son Puerto Morazán, Larreynaga y Nagarote² (**ver mapa 1³**).

La Cuenca 64 está conformada por varias unidades hidrográficas donde cada una tiene un río principal con desembocadura hacia el océano Pacífico. El recorrido de los ríos varía en dependencia de la longitud de cada uno de estos y va de 8.46 a 50 km. En las elevaciones máximas destaca la unidad estero El Limón con 1540 msnm, la cual es ocasionada por las altas elevaciones del parteagua de la cuenca formado por la cordillera volcánica. Esto a su vez provoca que esta subcuenca tenga la pendiente más grande de la cuenca con 4.6%.

En lo que respecta al tiempo de concentración de las aguas, partiendo desde el sitio donde inicia el trayecto de recorrido hasta su desembocadura, la subcuenca del río Chiquito representa el valor más alto en la cuenca con 4.8 horas.

Las unidades hidrográficas de la Cuenca 64 poseen una baja densidad de drenaje que va de 0.05 a 0.20 (km/km²) (**ver tabla 1**). Asimismo, las subcuencas tienen una forma semi-ovalada, característica que está definida por su factor de forma (Ff) cuyo valor es menor a 0.5 (adimensional) para todas los casos. De acuerdo a este valor se pueden propiciar avenidas o crecidas máximas repentinas pero de bajo nivel ya que sus valores de pendiente media son bajos. No es posible determinar otros indicadores de escurrimiento por falta de mediciones continuas de caudales de ríos en la cuenca.

¹.Dato oficial proporcionado por INETER en 2017 y consensuado por el grupo interinstitucional involucrado en el diagnóstico. Este dato fue utilizado para la mayoría de los cálculos realizados de este estudio.

².En lo sucesivo se consideraran solamente los 10 municipios que mayor superficie alcanzan dentro de la cuenca, por lo que Puerto Morazán, Larreynaga y Nagarote, por comprender menos del 1%, ya no serán valorados.

³.Los mapas presentados en este diagnóstico están proyectados en sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator) UTM con sistema WGS84 (World Geodetic System) Zona 16 (zona donde se encuentra Nicaragua)

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Las características morfométricas de las demás subcuencas se describen en la tabla (1) siguiente:

Tabla 1. Características morfométricas de las subcuencas de la Cuenca 64

No	Subcuenca	Río	Área (km ²)	Elevación máxima (msnm)	Elevación mínima (msnm) *	Longitud del río (km)	Pen-diente media (%)	Tiem-po de concen-tración (hrs) **
1	Estero Ciego	Izapa	347.95	400	0.1	35.298	1.1	3.0
2	Estero El Limón	Amalia - Sucio	218.63	1540	0.1	33.656	4.6	1.7
3	Estero El Realejo	El Tesorero	243.30	440	0.1	29.344	1.5	2.4
4	Estero La Virgen	La Virgen	99.09	300	0.1	17.91	1.7	1.6
5	Estero San Cayetano	Quebrada Arenosa	45.82	160	0.1	8.46	1.9	0.8
6	Río Atoya	Atoya	354.51	680	0.1	32.73	2.1	2.3
7	Río Chiquito	Salinas Grande	552.89	220	0.1	31.89	0.7	3.4
		Chiquito		140	0.1	37.223	0.4	4.8
8	Río Posoltega	Posoltega	212.63	680	0.1	39.434	1.7	2.8
9	Río Telica	Quezalaguaque (Telica)	254.01	640	0.1	50.043	1.3	3.8
10	Río Viejo	Viejo	237.95	380	0.1	30.516	1.2	2.6
11	Estero Puerto Arturo	La Llorona	344.0	480	0.1	17.318	2.8	1.2

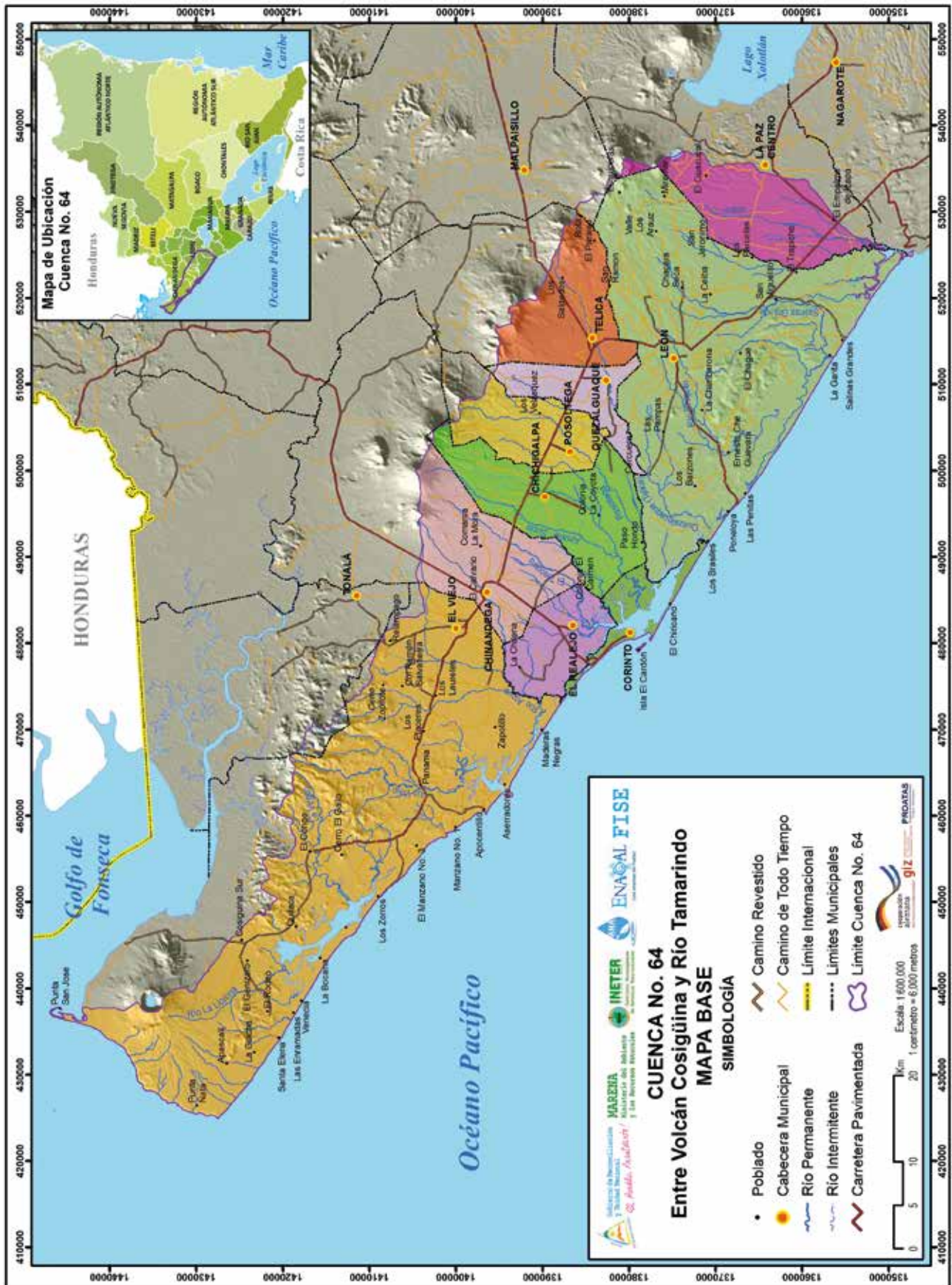
*Se establece un valor mínimo de 0.1 m para efectos de cálculos de los parámetros morfométricos, sin embargo el valor mínimo correcto debe ser 0 como la cota de la línea costera de la cuenca.

Cabe mencionar que a lo largo del documento se mencionan diferentes valores relacionados al área de la cuenca 64, sin embargo estos valores pueden cambiar en dependencia del enfoque del cálculo a realizar. Por ejemplo para la componente meteorológica el área es de 2596.72 km² mostrada en **tabla 12**. Esto debido a la sumatoria del área de cada uno de los polígonos de Thiessen dibujados para determinar área de influencia de lluvia (**ver en sección 2.1**). En el acápite 1.1.3 de uso de suelo, las áreas resultan en 2919.29 y 2901.04 km² ya que dependen de las áreas por tipo de suelo definidas en el análisis de uso de suelo visualizadas en las **tablas 3 y 4**.

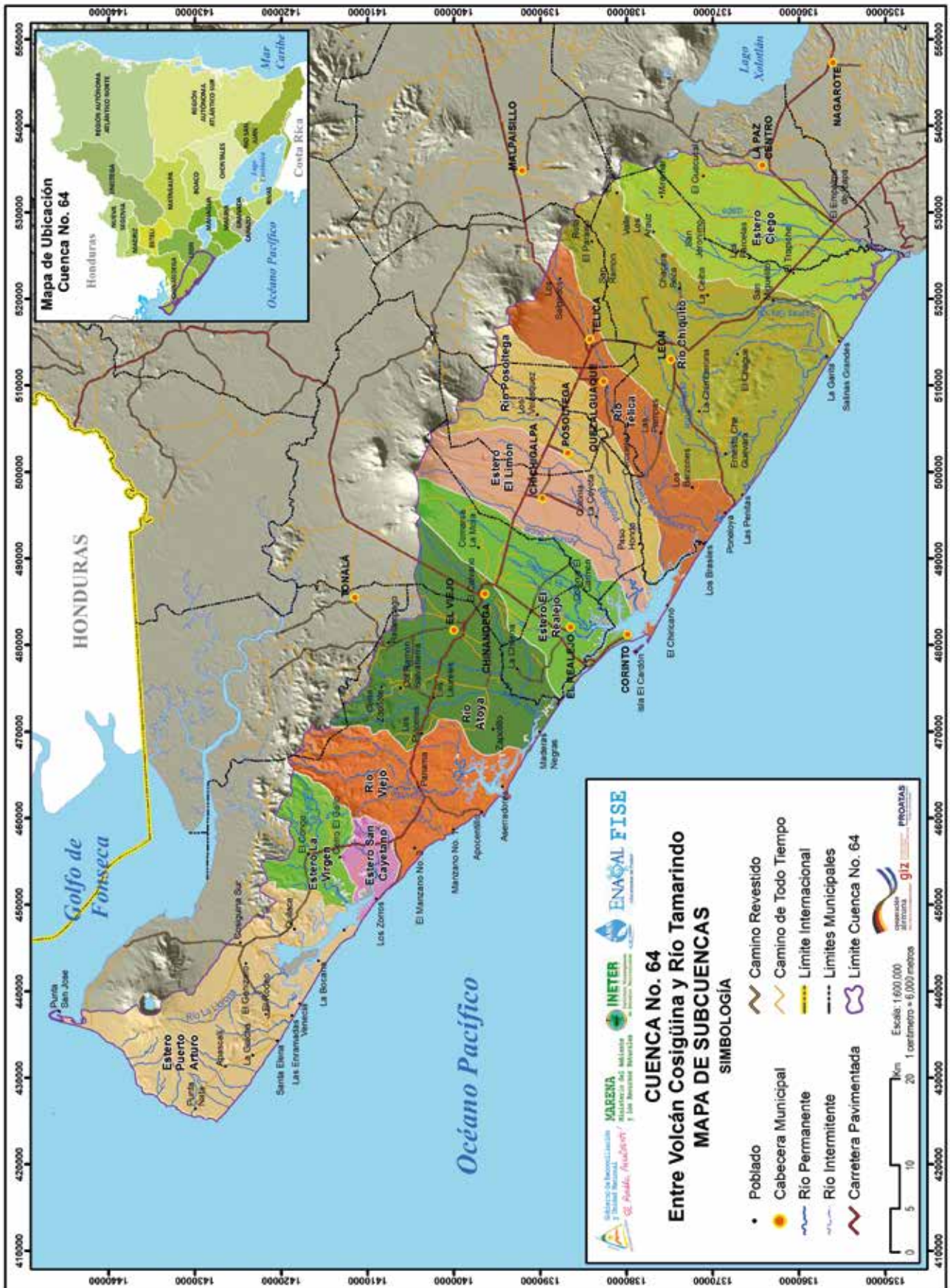
Según la cartográfica oficial hidrográfica vigente^{4a} la cuenca 64 es denominada UH nivel 7 con el código 64-9533759 y comprende un área oficial de 2773.43 km².

⁴ "Delimitación de Cuencas Hidrográficas en Nicaragua bajo la metodología de Pfafstetter" (2014). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH de la Cooperación Alemana para el Desarrollo.

Mapa 1. Localización de la Cuenca 64



Mapa 2. Cuenca 64 y sus subcuencas



1.1.1 Topografía y Geomorfología

El relieve en la cuenca es casi plano en su mayoría, las llanuras se encuentran ubicadas hacia el sureste, a lo largo del contorno de las costas del océano Pacífico. Las elevaciones se sitúan hacia el noroeste, sobre la cordillera volcánica de los Maribios, donde se forma el parteaguas (**mapa 3**).

Tomando en cuenta estas particularidades y análisis de la hipsometría, pendientes y drenaje de la cuenca, así como las coincidencias geomorfológicas generadas por las formaciones geológicas, la cuenca se puede dividir geomorfológica en **5 unidades (ver mapas 4 y 5)**:

1.1.1.1 Unidad cordillera volcánica (2100 a 200 m):



Foto 4. Panorámica del Volcán Casitas, visto desde una finca en Quezalaguaque.

Comprende la parte alta de la cuenca que abarca principalmente las cumbres sobre la cordillera los Maribios, con rangos de pendientes que van de 15 a mayores a 50° que provoca un relieve moderado a muy escarpado. En esta unidad es donde nacen los ríos principales y se encuentran las principales estructuras volcánicas que caracterizan la cuenca: San Cristóbal (1,745 m.s.n.m.), Casita 1,405 m.s.n.m.), Chonco 1,165, Telica (1,061 m.s.n.m.), Cosigüina (872 m.s.n.m.) y Cerro Negro (640 m.s.n.m.) (foto 4).

Los sistemas de drenaje comienzan en esta unidad con una dirección E-O, formando segmentos bastante rectilíneos de la red de drenaje, sobre todo en la mitad NO de la zona, y podemos interpretarla como condicionada directamente por la tectónica reciente (Álvarez, 2009).

1.1.1.2 Unidad de transición volcánica (200 a 100 m):

Consiste en la parte media a alta de la unidad hidrográfica, con pendientes que oscilan entre menores a 4° ligeramente inclinadas. Forman la parte baja de la cordillera volcánica, asimismo sirve de límite entre el área de los volcanes y la zona de planicie donde se depositan los materiales recientes provenientes de la parte alta y que son resultado de los procesos de modelaje del relieve. El sistema de drenaje posee el mismo patrón rectilíneo descrito en la primera unidad.

1.1.1.3 Unidad de cerros lávicos (200 a 100 m):

Esta unidad se encuentra localizada dentro la parte media a alta de la cuenca, sin embargo tienen características diferentes a la unidad de transición volcánica. Cuenta con relictos de cerros lávicos producto de los procesos erosivos presentes en la cuenca. Esta unidad es la más pequeña con comparación con las otras unidades, se localiza en el municipio de El Viejo en parte NE y forma parte de la línea divisoria de toda la cuenca.

1.1.1.4 Unidad planicie aluvial (50 a 10m):

Destaca por ser la unidad más grande y está distribuida a lo largo de toda la parte baja de la cuenca, con pendientes menores a 4 grados y relieve plano (mapa 5). Se sitúa a lo largo de la costa del Pacífico y al suroeste del golfo de Fonseca, donde desagua toda la red de drenaje y donde eventualmente se presentan inundaciones, especialmente durante lluvias cuantiosas. Su característica geomorfológica más destacada es la presencia del graben tectónico (INETER/MAGFOR 1999) y el relleno posterior de depósitos volcano-sedimentos recientes no consolidados. Entre las características volcano tectónica destacan fallas paralelas con el relieve, constituyendo casi en continuidad y exclusiva una planicie, respecto al drenaje es paralelo y la mayoría de las veces está controlada estructuralmente por fallas orientadas NE SW. Además contiene los cauces de afluentes que generan mayor erosión en toda la cuenca. Tiene elevaciones que varían de 50 a 10 m y controla alrededor del 60 % del área de la cuenca.

1.1.1.5 Unidad costera (0-10 m):

Esta unidad se encuentra a lo largo de toda la costa y está bien definida a partir de la cota de elevación 10 y limita con la unidad de planicie aluvial. Su principal ambientes es marino - costero.

Es una zona de manglares y esteros, comprende la desembocadura de los ríos que hacen esteros. La cuenca tiene 16 esteros dentro de los cuales destacan Estero Padre Ramos, Estero Aserradores con 6 esteros, Estero Paso Caballo en la ciudad de Corinto donde también convergen 6 esteros de los cuales 2 han sido declarados zonas protegidas por MARENA.

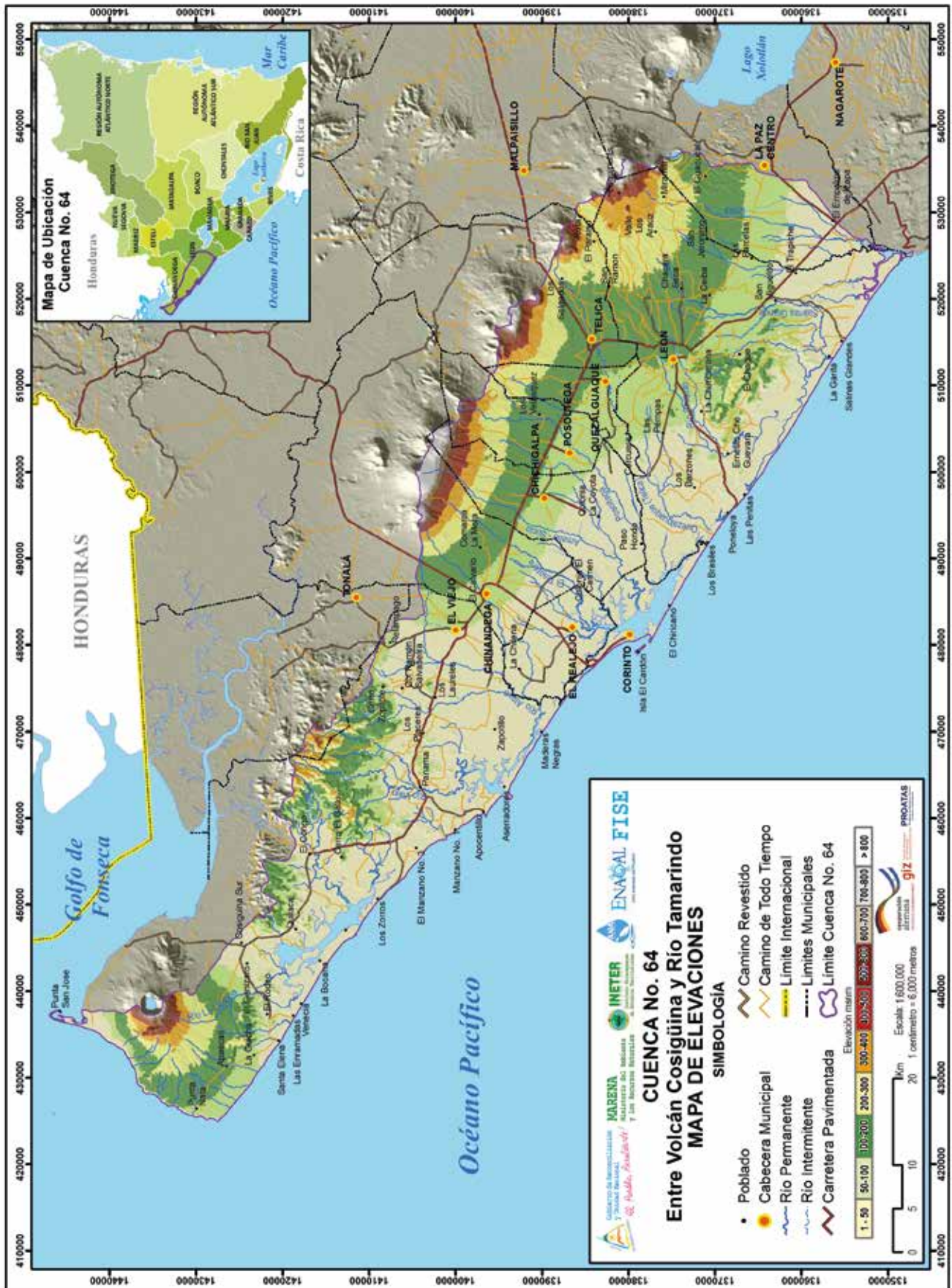
Finalmente en el límite este de la cuenca, el río Tamarindo en su desembocadura origina el estero con el mismo nombre que abarca 4 esteros más.

En la cuenca 64 destacan unidades geomorfológicas de diferentes ambientes:

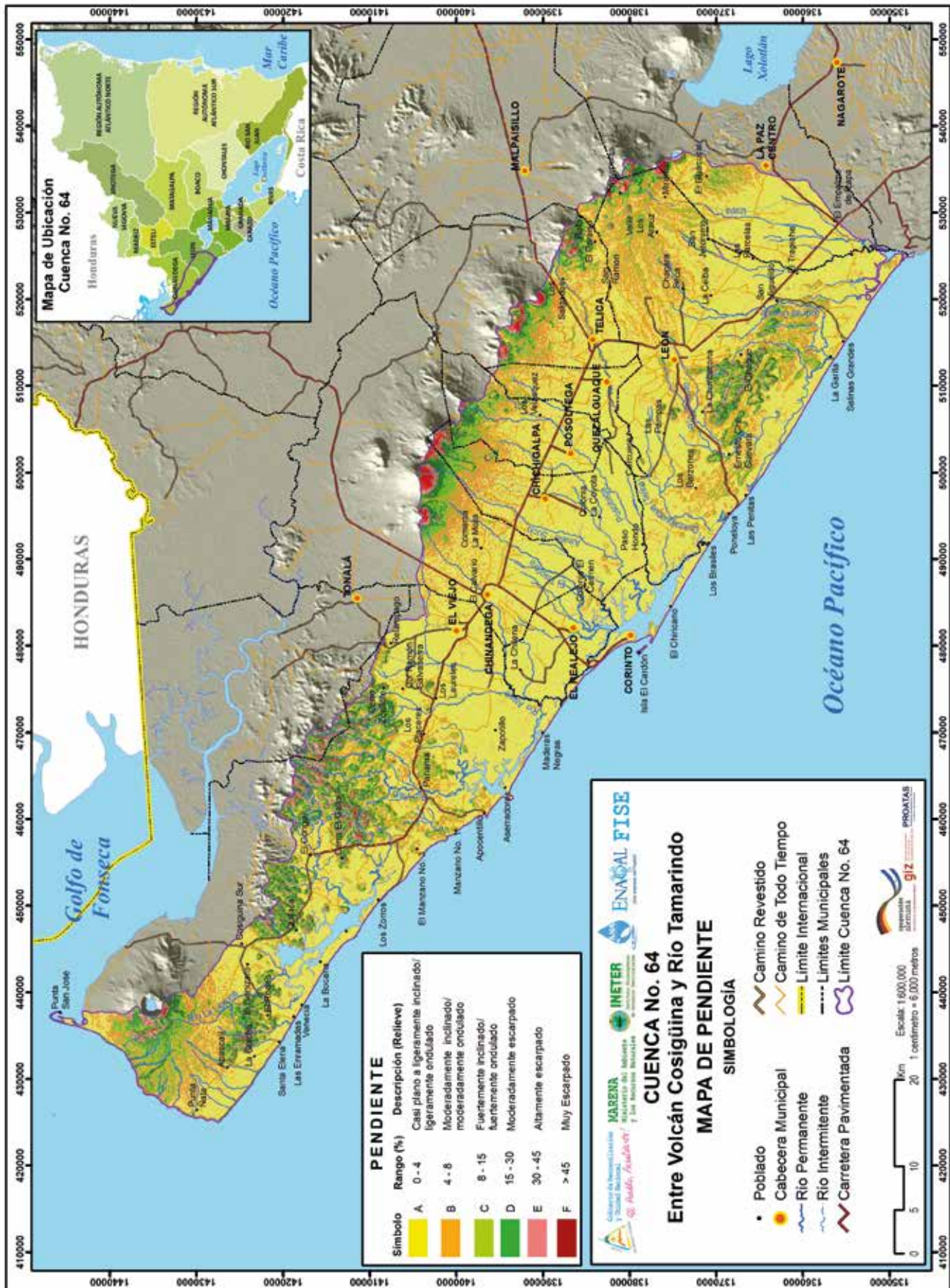
- La zona costera con esteros y manglares que son áreas priorizadas en la adaptación al cambio climático por la capacidad de restauración ecológica de los ecosistemas.
- La planicie aluvial donde se encuentra almacenado el mayor recurso subterráneo denominado: acuífero de Occidente.
- La cordillera volcánica con varias estructuras volcánicas con actividad moderada, que a su vez sirve como límite de cuenca.



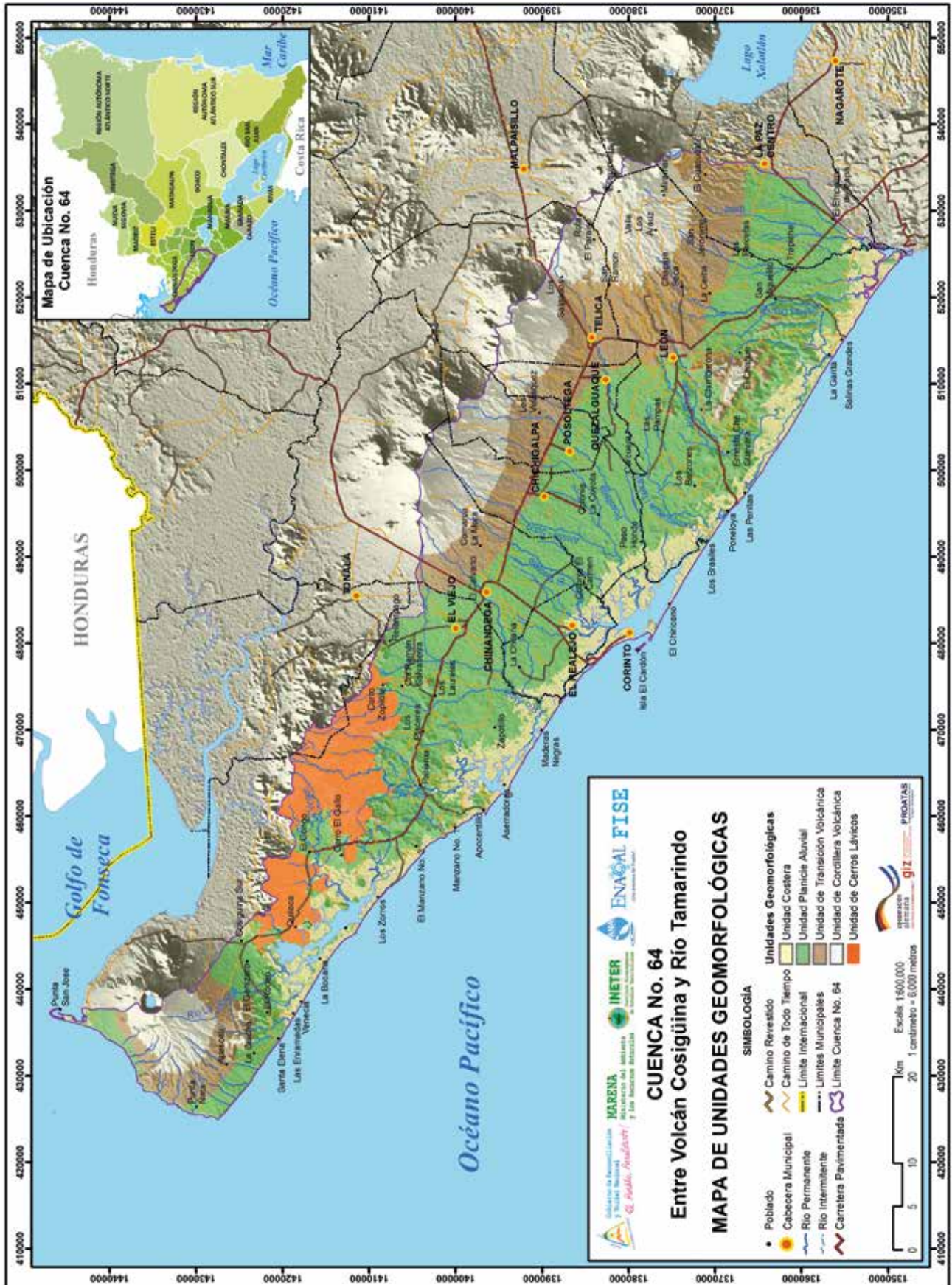
Mapa 3. Hipsometría de la Cuenca 64



Mapa 4. Pendientes de la Cuenca 64



Mapa 5. Unidades geomorfológicas de la Cuenca 64



1.1.2 Geología

El área de estudio se encuentra en la Planicie Chinandega-León-Nagarote, localizada entre la zona de la Faja Costera del Pacífico y la Gran Depresión Nicaragüense. Para la descripción de la geología de la Cuenca 64 se utilizó el mapa geológico nacional de Nicaragua realizado en 2004 por INETER y el BGR (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania). Para el área de Occidente, existen 8 unidades geológicas. En la **tabla 2** se muestran las unidades de la cuenca de acuerdo al mapa arriba mencionado.

Tabla 2. Descripción de las unidades geológicas de la Cuenca 64 (INETER/BGR, 2004)

Edad	Formación	Composición litológica
Cuaternario	Aluvial	Sedimentos recientes: Guijarros, arenas, suelos arenosos, arcillas
	Relleno Coluvio-Aluvial	Sedimentos consolidados (más antiguos) y recientes: Guijarros, arenas, suelos arenosos, arcillas
	Volcánico-Reciente	Rocas volcánicas: Lavas, tobas, cenizas, aglomerados, escorias basálticas y andesíticas-basálticas
	Formación Las Sierras	Rocas volcánicas: Ignimbritas, tobas, aglomerados y escorias basálticas
Neógeno	Coyol Superior	Rocas volcánicas: Ignimbritas, brechas dacíticas, lavas basálticas-andesíticas y piroclastitas
	Coyol Inferior	Rocas volcánicas: Lavas basálticas, andesíticas, riolíticas- dacíticas; aglomerados
	Tamarindo	Rocas volcánicas y sedimentarias: Piroclastitas, ignimbritas, tobas, lavas (riolíticas, dacíticas, basálticas), areniscas y conglomerados
Paleógeno - Neógeno	Matagalpa	Rocas volcánicas y sedimentarias: Tobas riolíticas-dacíticas, lavas andesíticas-basálticas, ignimbritas y areniscas
	Márgenes Batolito de Dipilto	Rocas plutónicas: granodioritas

También se realizó un resumen de la geología de la zona según INETER/MAGFOR (1999), en el cual describen las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

1.1.2.1 Formación Tamarindo (Tmt)

Las rocas de la Formación (Fm) Tamarindo de edad Mioceno se extienden en forma de faja alargada de rumbo NO-SE a lo largo de la costa, al sur de León y algunas veces se reducen a pequeñas colinas aisladas en Chinandega, Corinto y Tonalá. La formación empieza litológicamente con andesitas y aglomerados, y culmina con tobas e ignimbritas dacíticas a riolíticas (**foto 5**).



Foto 5. Afloramiento de ignimbritas en la parte baja del río Posoltega.

La Fm. Tamarindo está en contacto directo con el relleno sedimentario, o zona saturada, lo que indica que en el sector SE de la ciudad de León representa al basamento hidrogeológicamente impermeable. El techo de la Formación Tamarindo no es plano, sino que sufre flexiones formando pequeños anticlinales, afectada por los sistemas de fallas existentes de orientación NO-SE y NE-SO.

1.1.2.2 Formación Coyol

Dentro de la cuenca, esta formación se localiza en la parte NO de la Cuenca, en el municipio de El Viejo. Los depósitos geológicos del Coyol, de edad Plioceno, sobreyacen discordantes sobre la Formación Tamarindo y están compuestos predominantemente por flujos lávicos basálticos y lentes de aglomerados hacia la base. Los basaltos son masivos de color gris oscuro, frecuentemente vesiculares con óxido de hierro en las zonas de fractura. Los

aglomerados están compuestos por bombas, bloques de basaltos vesiculares y andesíticos. En este tipo de rocas, aunque sean impermeables, las aguas circulan a través de las fracturas, grietas, diaclasas y planos de falla, creando una permeabilidad secundaria en ellas.

1.1.2.3 Formación Las Sierras (TQPs)

Esta formación, de edad Plio-Pleistoceno, se formó al final del Terciario e inicio del Cuaternario. Litológicamente se compone de una gran variedad de productos piroclásticos basálticos y andesíticos de regular compactación, de pobre a mediana cementación, de granulometría fina a gruesa, producto de erupciones volcánicas relacionadas a los centros del vulcanismo pleistocénico, con un espesor aproximado de 650 m. Estos depósitos afloran principalmente al este de León y Chichigalpa y oeste de Chinandega, sobreyacen en forma discordante sobre la Formación Tamarindo.

1.1.2.4 Rocas volcánicas Reciente

La composición de las rocas cuaternarias es una combinación de rocas de origen volcánico y volcano sedimentario, presentando en su mayoría una composición andesítica en el caso de las tobas y cenizas. Se aprecia que en la zona de Nagarote-La Paz Centro son características las intercalaciones de lentes (10-15 m y hasta más) de pómez y escoria, lentes que tienden notablemente a disminuir hacia León y más aún hacia Chinandega. Estos estratos pumíticos y escoriáceos son producto del vulcanismo explosivo de la zona de Nagarote-La Paz Centro, donde se pueden localizar estructuras caldéricas residuales que dieron origen a estos productos volcánicos (Caldera de Monte Galán, Caldera de San Fernando, Caldera de Malpaisillo, Caldera de Apoyeque, Caldera de Nejapa y otras más de pequeña escala).

Hacia el occidente (León-Chinandega), los estratos predominantes son las tobas líticas aglomeráticas de composición heterogénea, de color gris, con variaciones en los contenidos de arena y arcilla en la matriz y de compactación media, con intercalaciones de tobas brechosas, tobas limosas y tobas arenosas.

1.1.2.5 Relleno Coluvio Aluvial

Comprenden depósitos de guijarros, arenas, suelos arenosos y arcillas provenientes de material volcánico (depósitos piroclásticos) poco consolidados. En el proceso de sedimentación los materiales piroclásticos más gruesos se han depositado en lugares próximos a la cadena volcánica y los más finos cerca al mar.

Este tipo de depósitos pleistoceno-holocénicos poco consolidados, afloran en casi todo el Graben de Nicaragua. Estos son materiales transportados, y depositados (recientemente) sobre las partes bajas de las cuencas de los ríos, y en las laderas poco inclinadas de las zonas altas. Están constituidos por gravas, arenas finas a gruesas, limos, arcillas y suelos arcillosos. En la parte intermedia de los cauces de algunos ríos, estos depósitos presentan cierta clasificación granulométrica (por ej: en el río Telica).

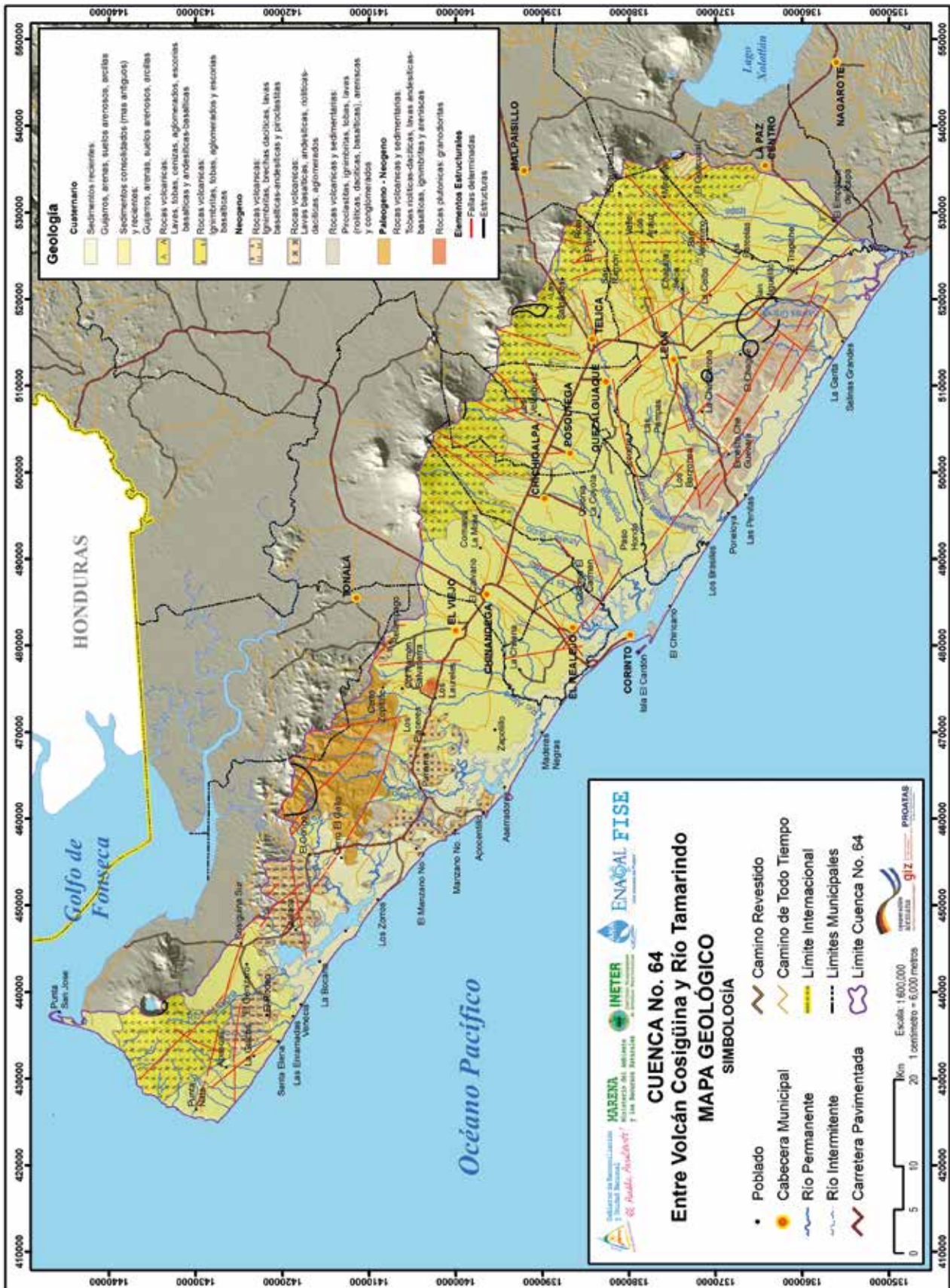
Los depósitos aluviales y coluviales en los valles jóvenes de los ríos son de edad Holocénica y están compuestos por guijarros, suelos arenosos y arcillosos, arenas lagunares, arenas de playa, etc. Este tipo de depósitos recientes, al estar constituidos por materiales de granulometría gruesa resultan ser buenos acuíferos, ya que crean buena permeabilidad.

1.1.2.6 Material Aluvial

La zona denominada "relleno", una zona muy importante por ser la unidad donde se aloja el acuífero de la Planicie Chinandega-León-Nagarote, está constituida por las dos unidades siguientes:

- Unidad A: Cuaternario volcánico Reciente.
- Unidad B: Depósitos volcánicos sedimentarios y flujos piroclásticos de la Formación Las Sierras; así como por una intercalación de potentes flujos lávicos, lapilli y tobas diversas.

Mapa 6. Unidades geológicas de la Cuenca 64



1.1.3 Uso de suelo

Gracias a sus fértiles suelos y acuífero con alto potencial, la creciente actividad agropecuaria en la cuenca la ha despojado de su cobertura forestal. Donde aún se conservan espacios de bosque latifoliado, es en las áreas protegidas del volcán Cosigüina y resto de la Cordillera de los Maribios. Las áreas de pastoreo y cultivos, se sitúan principalmente en terrenos planos, a lo largo de la faja costera.

En el estudio sobre el análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en base a imágenes satelitales de la Cuenca 64 (Mendoza, 2014), que es considerado como una continuidad de los estudios ejecutados por GTZ en el área del proyecto PROCHILEON en 2002. Se puede observar que la composición forestal consiste esencialmente en árboles, asociados con vegetación arbustiva (matorrales) y pastos. Los suelos de vocación pecuaria se hallan con vegetación arbustiva, pastos naturales y jícaros. Las áreas con potencial agrícola se encuentran con cobertura de cultivos intensivos (de secano y bajo riego) y cultivos extensivos **(ver tabla 3)**.

Mediante sobre-posición digital de los mapas clasificados de cada fecha (2002 y 2014) (Change detection tool), se identificaron las áreas de cambio en los períodos respectivos. Este análisis se realizó para la superficie comprendida dentro de la Cuenca 64.

Tabla 3. Uso del suelo en la Cuenca 64 (2002-2014)

ID	COBERTURA	Superficie (km ²)		Dif. Área (2002-2014)	TAC* 2002-2014
		2002	2014		
1	Bosque latifoliado abierto	143.38	403.23	- 259.86	9.00%
2	Bosque seco y/o matorral seco	142.21	359.40	-217.18	8.03%
3	Plantaciones forestales		19.89	- 19.89	
4	Vegetación sobre material rocoso	31.00	31.94	-0.94	0.25%
5	Bosque de mangle	171.01	194.98	- 23.96	1.10%
6	Bosque latifoliado cerrado	43.74	30.21	13.54	-3.04%
7	Pastos con arbustos y/o vegetación	111.42	212.42	-100.99	5.52%
8	Pastos con jícaros y/o jícaros	246.90	199.24	47.65	-1.77%
9	Pastos y/o cultivos extensivos	413.40	314.64	98.76	-2.25%
11	Humedales	23.21	23.18	0.03	-0.01%
12	Camaroneras y/o Salineras	28.85	41.22	- 12.37	3.02%
13	Agua	2.72	15.55	- 12.83	15.62%
14	Áreas quemadas	103.68	30.17	73.51	-9.77%
15	Urbano	38.69	53.97	- 15.28	2.81%
16	Bosque de galería		71.68	- 71.68	
17	Cráter	6.94	7.63	-0.69	0.80%
18	Deslave	0.45		0.45	
19	No Clasificado	2.74		2.74	
101	Pastos y/o cultivos intensivos secano	1,166.28	491.36	674.92	-6.95%
102	Pastos y/o cultivos intensivos de regadío	242.66	419.88	-177.21	4.68%
	TOTAL	2,919.29	2,920.59	-1.30	

* TAC: Tasa anual de cultivo

Fuente: Mendoza F. 2014. Análisis Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo en base a Imágenes Satelitales de Cuenca 72 y los municipios de Tola y Cárdenas en el periodo de tiempo 2000-2006-2014, y de la Cuenca 64 para el periodo 2002-2014.

Al año 2014, los pastos y cultivos alcanzan un poco más de la mitad de la superficie en la cuenca (56.07%), situadas principalmente en las partes llanas del territorio y las áreas de bosques y vegetación arbustiva un (38.05%). En los **mapas 7 y 8** se muestran los cambios entre ambos años y las diferencias entre las tasas anuales de cultivo.

Las coberturas de pastos y/o cultivos intensivos ocupan 31.2% del área, seguidos por pastos y/o cultivos extensivos (10.77%), pastos con arbustos y/o vegetación (7.27%) y pastos con jícaros y/o jícaros (6.82%).

En menores proporciones encontramos bosque latifoliado abierto (13.81%), bosque seco/matorral seco (12.31%), bosque de mangle (6.68%), bosque de galería (2.45%), vegetación sobre material rocoso (1.09%) y bosque latifoliado cerrado (1.03%). Las coberturas más pequeñas corresponden a áreas urbanas (1.85%), camaroneras y/o salineras (1.41%) y áreas quemadas (1,03%). Por último, las superficies con menos del 1% de cobertura, pertenecen a espacios de humedales (0.79%), plantaciones forestales (0.68%), agua (0.53%) y cráteres (0.26%).

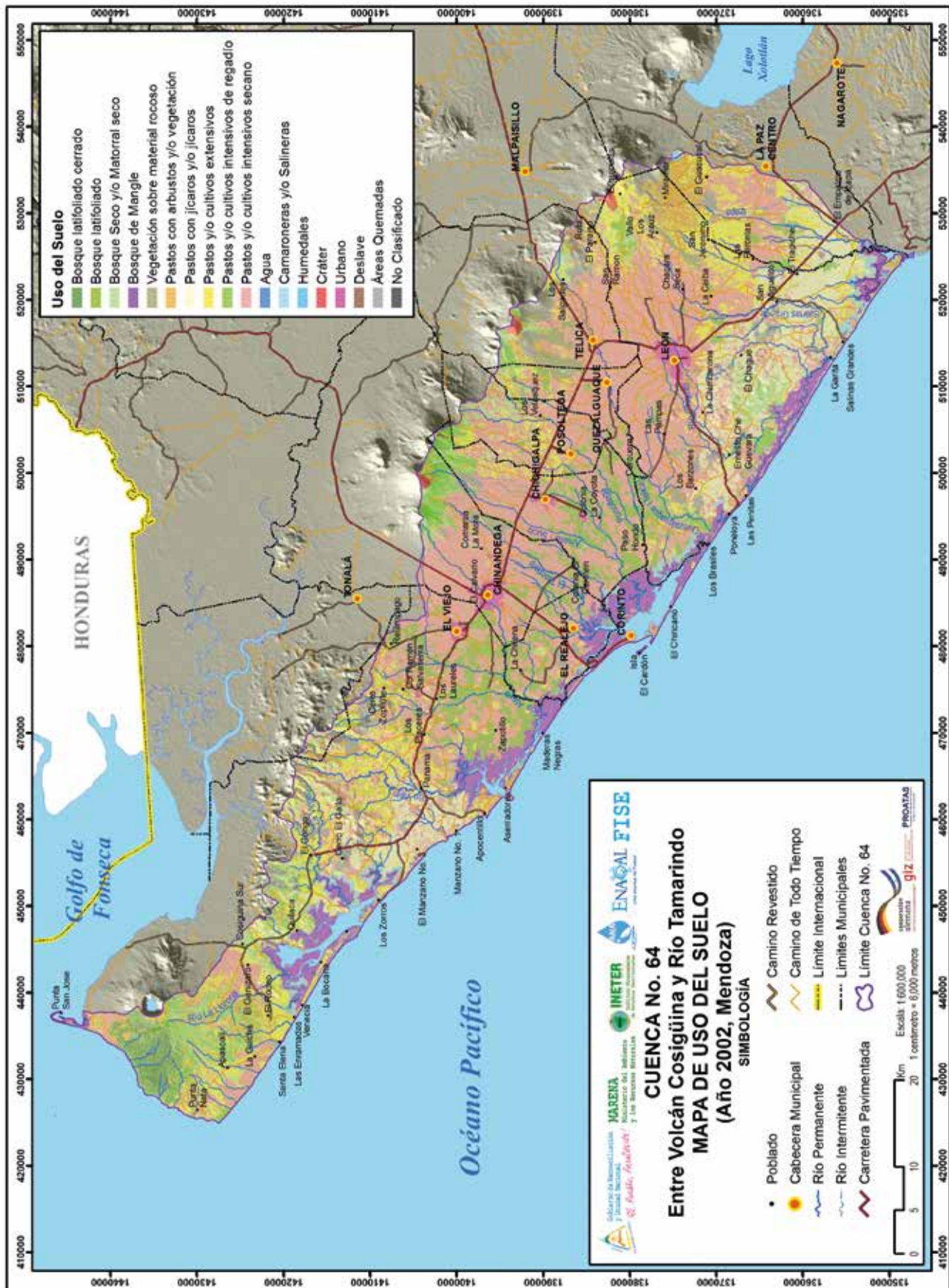
Un análisis comparativo entre las coberturas obtenidas en el estudio de Mendoza, para los años 2002 y 2014 respectivamente (Tabla 3), permite conocer la disminución o pérdida de las áreas clasificadas como deslave (100%), áreas quemadas (70.9%), pastos y/o cultivos intensivos de secano (57.87%), bosque latifoliado cerrado (30.93%), pastos y/o cultivos extensivos (23.89%), pastos con jícaros y/o jícaros (19.3%) y humedales (0.13%).

Las coberturas con aumento o ganancia en su extensión superficial son: agua (471.69%), bosque latifoliado abierto (181.23%), bosque seco y/o matorral seco (152.72%), pastos con arbustos y/o vegetación (90.65%), pastos y/o cultivos intensivos de regadío (73.03%), camaroneras y/o salineras (42.88%), urbano (39.49%), bosque de mangle (14.02%), cráter (9.94%) y vegetación sobre material rocoso (3.03%).

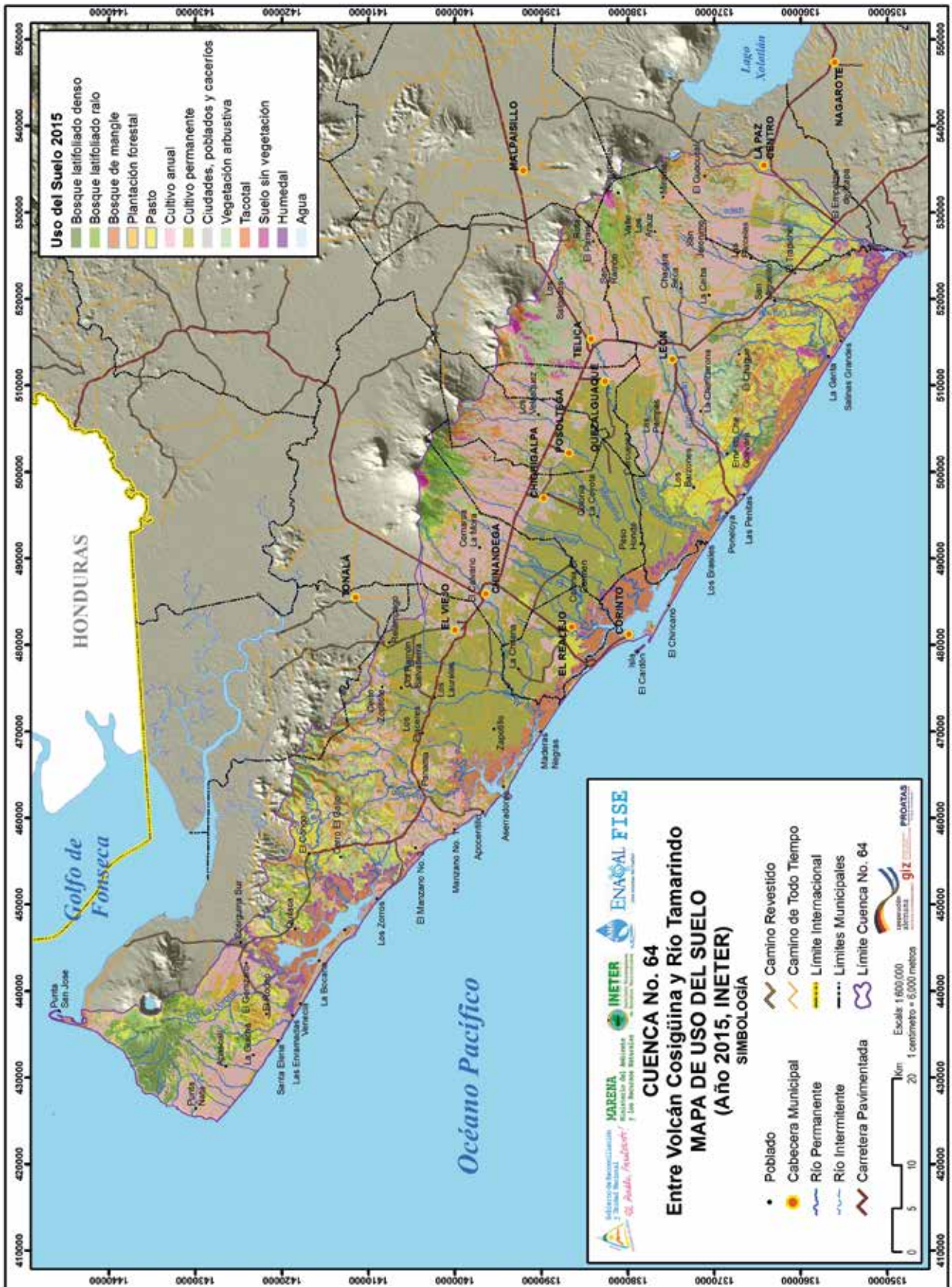
Categorías como plantaciones forestales y bosques de galería, que juntas ocupan un poco más del 3% de la superficie total de la cuenca, surgen como nuevas coberturas a partir del año 2014.

Esto hace sugerir, que las pérdidas en las áreas de bosque latifoliado cerrado, han dado paso a las de bosque latifoliado abierto y/o áreas de pastos. Así mismo, la disminución de las áreas de cultivos de secano, probablemente han dado lugar al surgimiento de nuevas zonas de regadío, con un consecuente aumento en la demanda extractiva de agua para ese fin. Por otro lado, la reducción de áreas de pastos y/o cultivos extensivos, aparentemente han cedido lugar para la revelación de nuevas áreas dedicadas a pastos y/o cultivos intensivos de regadío.

Mapa 7. Uso de suelo 2002



Mapa 8. Uso de suelo 2014



Al comparar las cifras de 2014 (Mendoza, 2014) con las obtenidas por INETER (2015) (**ver tabla 4 y mapa 9**), encontramos que los resultados se aproximan muchísimo, pues las áreas destinadas a pastizales y cultivos alcanzan un 53.73% (Mendoza: 56.07%) y las zonas con áreas de bosques y vegetación arbustiva un 39.69% (Mendoza: 38.05%). Sumando ambas categorías, se obtiene un 93.42%, que equivale a las áreas con cobertura (Mendoza: 94.12%).

Tabla 4. Uso de suelo al año 2015, Cuenca 64

ID	COBERTURA	SUPERFICIE (2015)	
		Km ²	%
1	Bosque latifoliado ralo	151.08	5.21
2	Tacotal	143.74	4.95
3	Plantación forestal	35.40	1.22
4	Vegetación arbustiva	500.26	17.24
5	Bosque de Mangle	154.69	5.33
6	Bosque latifoliado denso	166.11	5.73
7	Pastos	265.04	9.14
8	Humedal	45.26	1.56
9	Agua	17.79	0.61
10	Ciudades, poblados y caseríos	84.99	2.93
11	Suelo sin vegetación	42.91	1.48
12	Cultivo anual	708.80	24.43
13	Cultivo permanente	584.96	20.16
	Total	2,901.04	100.00

Fuente: INETER. 2015.

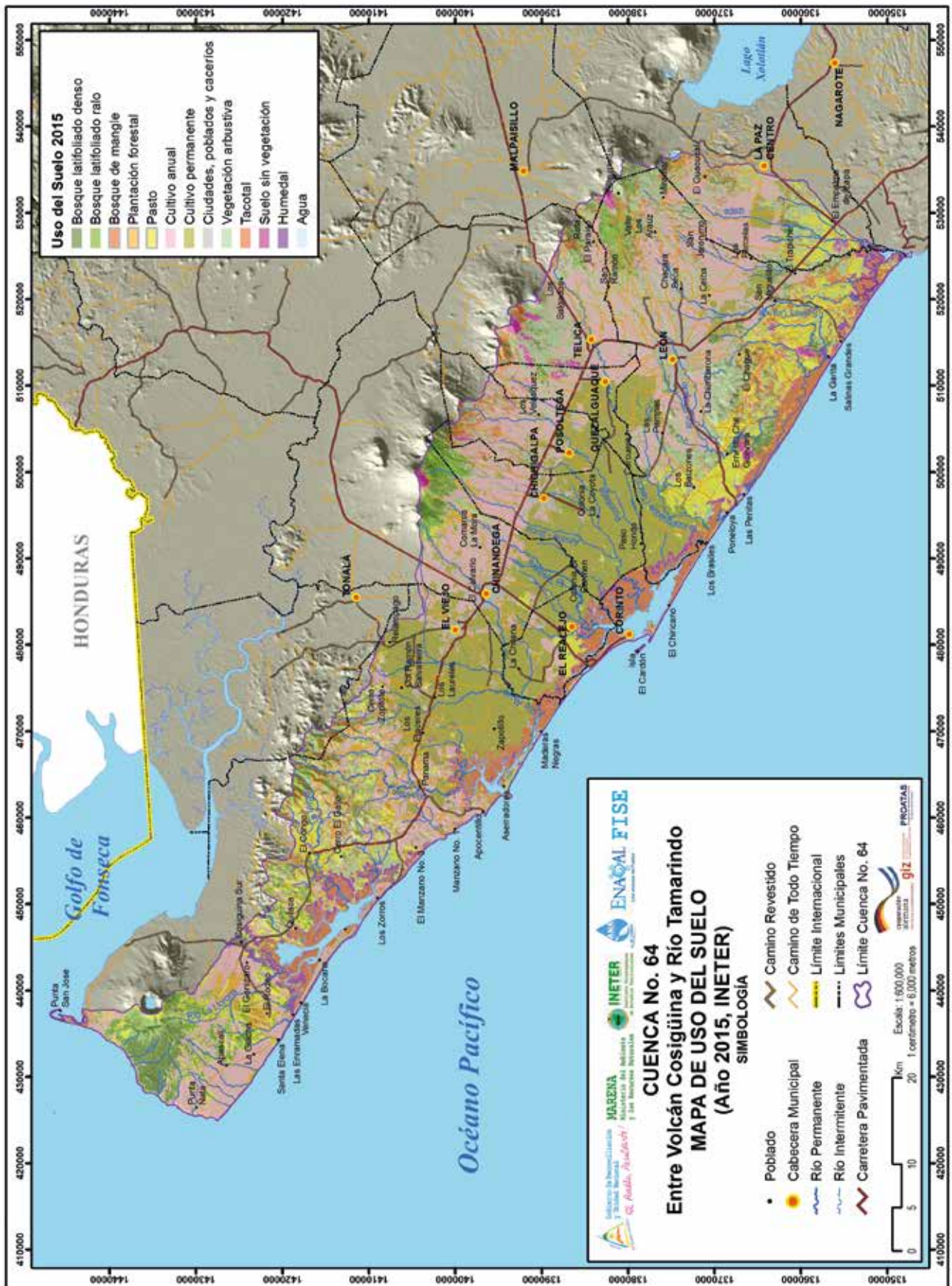
Las áreas sin cobertura (suelo sin vegetación) alcanzan el 1.48%), similar al 1.29% obtenido por Mendoza 2014 (áreas quemadas 1.03% y cráter 0.26%). Los humedales y agua alcanzan 2.17%, cifra también muy cercana a los 2.74% reportados por Mendoza 2014 (humedales 0.79%, camaroneras y/o salineras 1.41% y agua 0.53%).

Solamente en las áreas pobladas, es donde existe una pequeña diferencia, ya que INETER (2015) reporta un 2.93% (ciudades poblados y caseríos) y Mendoza (2014) obtiene un 1.85% (urbano).

Los principales contrastes están en los criterios utilizados por ambas metodologías, para clasificar algunas coberturas, ya que en las áreas de bosques y vegetación arbustiva se puede observar diferencias significativas

entre las categorías de bosque latifoliado ralo (INETER 2015: 5.21%) y bosque latifoliado abierto (Mendoza 2014: 13.81%), así como la discrepancia entre las categorías de bosque latifoliado denso (INETER 2015: 5.73%) y bosque latifoliado cerrado (Mendoza 2014: 1.03%).

Mapa 9. Uso de suelo 2015 (INETER)



1.1.3.1 Uso de suelo y cambio climático

Según la clasificación de Köppen, en la cuenca 64 prevalece el clima de Sabana Tropical (Aw), definido por temperaturas que alcanzan hasta 28°C y un período muy húmedo, entre los meses de mayo y octubre.

El comportamiento del clima en el departamento de Chinandega, durante el período 1971-2000, demuestra que durante la presencia de El Niño se presenta un déficit de lluvias que no logra superar la norma histórica, contrario al efecto de La Niña, donde las precipitaciones, si superan éste parámetro.

Respecto al índice de confort climático, prevalece el de Muy Cálido Opresivo, con predominio de Clima Caliente y Sub-Húmedo de mayor humedad (AW2) con precipitaciones anuales de 1,835 mm, 27.5°C de temperatura media anual y período canicular, que va desde julio hasta agosto.

En el departamento de León, el índice de confort climático es similar al de Chinandega, con índice de humedad en el rango de húmedo y muy húmedo durante el período lluvioso y de seco a muy seco en los meses de diciembre a abril, con idéntico período canicular, que el del departamento de Chinandega.

Estas variaciones, inciden enormemente en los rendimientos que se pueden obtener de la producción agrícola. Pequeños productores sin acceso a créditos o tecnologías de producción, son quienes más sufren éstas desavenencias, pues cultivan durante el período de Primera, asumiendo riesgos de sequía, que no pueden subsanar a través de una apropiada campaña de riego complementario. Por efecto de la sequía, son entonces los cultivos de primera, los más afectados.

Los medianos y grandes productores en cambio, no asumen riesgos innecesarios, ya que realizan sus siembras y producen durante la postrera, además de acceder al financiamiento, asistencia técnica o tecnologías como los sistemas de riego, que le permiten compensar, un eventual déficit de lluvias.

Además de los períodos secos o caniculares, que pueden presentarse entre las dos fases del periodo lluvioso, (primera y postrera), otros eventos climáticos extremos, que afectan la producción, son las tormentas tropicales y huracanes, que al provocar excesiva precipitación, causan inundaciones que destruyen cultivos en pie, matan o hieren animales, causan daños a la infraestructura, cosechas y almacenes de insumos y alimentos.

Los efectos de éste tipo de fenómenos, por lo general tienen repercusiones económicas que trascienden los confines de la cuenca, ya que aquí se concentra gran parte de la producción de agroexportación nacional.

Los municipios de la cuenca, que están más expuestos a sucesos de inundación, son León, El Realejo, El Viejo y Corinto (MARENA, 2010). Los más expuestos a eventos de sequía, son Corinto, El Viejo, Chichigalpa, Chinandega, Posoltega, León y La Paz Centro.

MARENA (2010) ha propuesto ya algunas medidas dentro de su estrategia de prevención y mitigación ante el cambio climático, que incluye la participación comunitaria; educación ambiental; coordinación interinstitucional; recopilación y manejo de datos para el eficaz monitoreo climático y ambiental; pero sobre todo acciones específicas, entre las que se pueden subrayar:

Frente a períodos de lluvias copiosas e inundaciones:

- No cultivar en áreas expuestas a crecidas, desbordamientos y deslizamientos, reubicando las zonas de labranza y pastoreo en áreas más seguras, según lo dictado por el ordenamiento territorial.
- Conservar las áreas protegidas.
- Desarrollar obras de infiltración y conservación de suelos.
- Disminuir los riesgos de contaminación y sedimentación, originados por mal uso de agroquímicos, excesiva labranza, prácticas extensivas e inadecuado manejo de desechos sólidos y líquidos.

Frente a períodos de sequías:

- Uso de sistemas de riego eficientes, que permitan mayores rendimientos, con menor volumen de agua.
- Uso de semillas adaptadas a condiciones de sequía.
- Uso de especies de ciclos cortos y de mayor rentabilidad.
- Promover buenas prácticas agropecuarias para el manejo apropiado de suelos y fuentes de agua.
- Controlar la utilización del acuífero y aprovecharlo según su potencial.
- Disminuir las prácticas extensivas de cultivo, para garantizar el uso sostenible de los recursos naturales.
- Vigilar y prevenir incendios forestales, quemas agrícolas, tala indiscriminada y sobre explotación del bosque seco.
- Extender y mejorar procesos de infiltración y recarga hídrica.
- Promover la captación y aprovechamiento de agua de lluvia a nivel local, en las zonas más vulnerables.
- Promover estrategias de seguridad alimentaria, para garantizar el abastecimiento de granos y semillas.

Estas medidas son revisadas más adelante, en el capítulo C: medidas de adaptación al cambio climático en dependencia de su relación directa con la disponibilidad del recurso hídrico.

- Por la fertilidad de sus tierras y la capacidad del acuífero, las coberturas predominantes en la cuenca 64 son las áreas de pastos y de cultivo, que de acuerdo al estudio realizado por PROATAS, al 2014 representaban el 56.07% del área total de la cuenca.
- Según estudio de INETER, al 2015 el área identificada exclusivamente de cultivos en la cuenca representaba el 44,59%.
- Las áreas de pastos y/o cultivos intensivos de secano, se han reducido en 23.13 % en el período del 2002 al año 2014, cediendo el crecimiento en 6% a espacios para pastos y/o cultivos intensivos de regadío, lo que aumentó la demanda de agua para riego, pero también el área de secano reducida al 2014 pudo ceder espacio para las plantaciones forestales.
- La cuenca 64 presenta una gran vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos de inundaciones y períodos prolongados de sequía. Para ello, ya existen algunas medidas propuestas, como estrategia de prevención, las cuales requieren de planificación.

1.2 Características administrativas y demográficas

Para hacer una estimación fiable de la demanda de agua en la cuenca, se analizaron los datos disponibles sobre población, provenientes de los informes del VIII Censo de Población y IV de Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) en 2005, último año en que el gobierno de Nicaragua realizó este tipo de estudios.

También se logró obtener de parte de algunas de las alcaldías municipales datos estadísticos propios, pero a sugerencia de ENACAL, se decidió realizar esta comparación únicamente con los datos del INIDE, por ser éstas las cifras oficiales gubernamentales, con los que tanto las instituciones del sector público y de la cooperación internacional, basan sus proyecciones demográficas.

La **tabla 5** muestra la extensión territorial y municipal de los dos departamentos dentro de la Cuenca 64. También se incluye el porcentaje correspondiente por municipio, siendo El Viejo y León los que ocupan las mayores extensiones con un 61.2 % del total de la Cuenca, seguidos de Chichigalpa y Chinandega siendo respectivamente el tercer y cuarto municipio con mayor cobertura. Por otro lado están Puerto Morazán, Nagarote y Larreynaga que se encuentran dentro de la cuenca pero la extensión de los 3 es menos del 1%.

Tabla 5. Superficie departamental y municipal dentro de la Cuenca 64

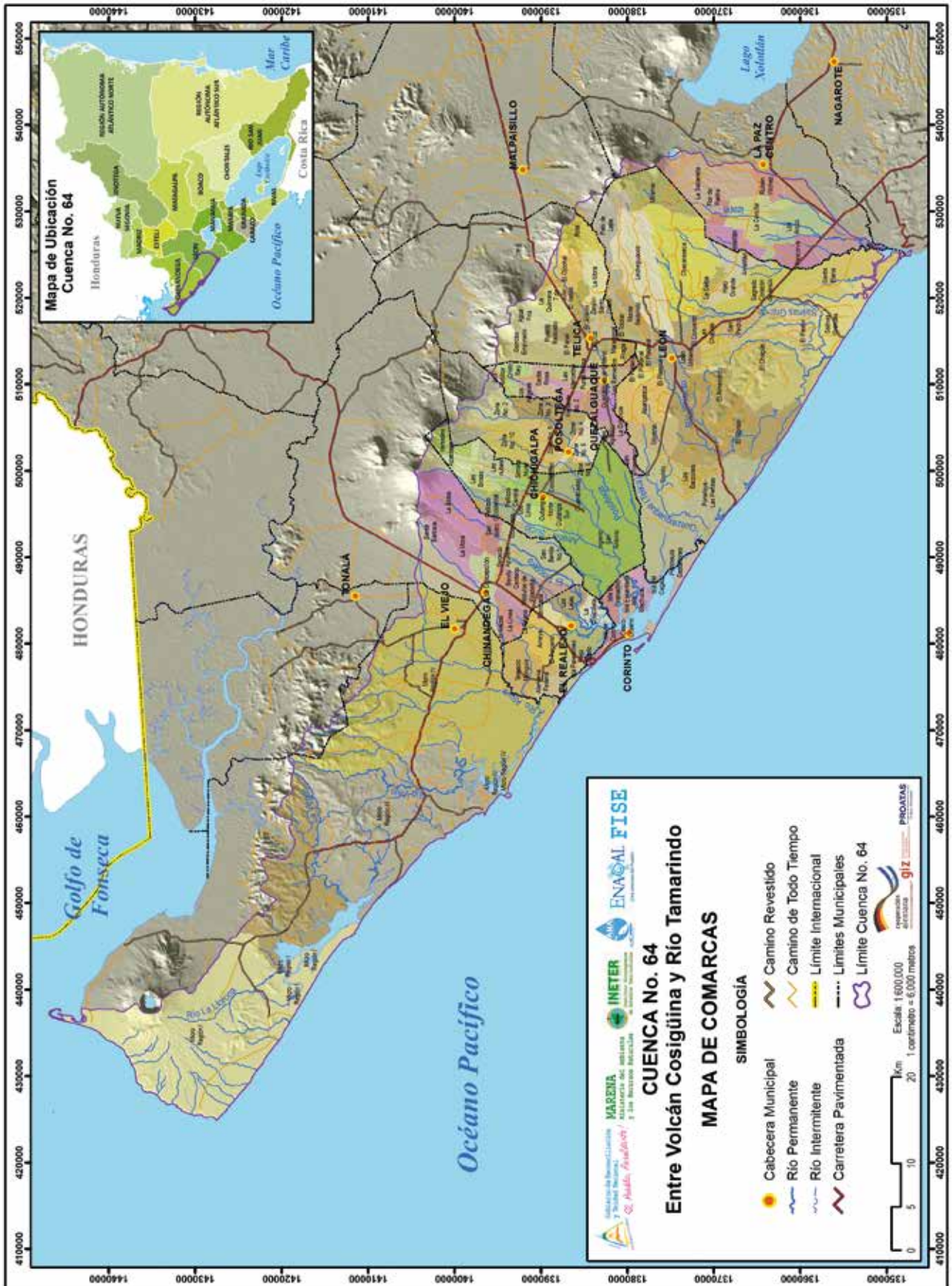
ID	COBERTURA	Área Total del Municipio	Área dentro de la Cuenca (Km ²)	Área (%)
Chinandega	El Viejo	1265.96	974.2	33.5
	Puerto Morazán	488.92	13.7	0.47
	Chinandega	659.47	208.2	7.2
	El Realejo	100.86	99.4	3.4
	Chichigalpa	219.55	218.5	7.5
	Corinto	41.16	44.1	1.5
	Posoltega	149.09	119.5	4.1
	Subtotal	2925.01	1677.5	57.6
León	Telica	391.44	158.1	5.4
	La Paz Centro	690.36	177.1	6.1
	Larreynaga	745.9	7	0.2
	Nagarote	0.4	0.4	0.01
	Quezalaguaque	84.87	84	2.9
	León	807.3	806.6	27.7
	Subtotal	2720.27	1233.3	42.4
Total	5645.28	2910.8	100	

Fuente: INETER, 2016

Posteriormente, se realizó un análisis geográfico de los territorios de cada municipio que se ubican dentro de los límites naturales de la cuenca; se utilizaron herramientas SIG, se confrontaron mapas de los límites políticos administrativos y demarcación comarcal de cada municipio, con el mapa de la delimitación geográfica del parteaguas de la cuenca 64, para distinguir claramente las localidades que se ubican dentro de éste contorno (ver **mapa 10**). De esta manera se ha contabilizado, para fines del cálculo del balance hídrico, únicamente la población asentada dentro de los límites naturales de la cuenca.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Mapa 10. Distribución comarcal dentro de la Cuenca 64.



En base al análisis SIG, las alcaldías municipales lograron obtener un registro detallado de las comarcas y barrios situados dentro o fuera de la cuenca hidrográfica y contabilizar así, los datos demográficos separadamente.

En la tabla 6 aparece un resumen comparativo de los datos demográficos de cada municipio y sus proyecciones de crecimiento poblacional, según INIDE 2005. Las tasas de crecimiento poblacional, resultan de aplicar la fórmula universal, empleada por INIDE:

$$Pf = Pi^{(R \times tf - i)}$$

$$R = 1 / (tf - i) \times \ln (Pf / Pi)$$

Dónde:

Pf= Población proyectada (futura)

Pi= Población inicial

tf-i= Año proyectado - Año inicial = Período proyectado

R= Tasa de crecimiento (expresada en porcentaje o en formato decimal)

En base al análisis de los datos poblacionales del censo 2005 y las proyecciones de crecimiento al año 2015, realizadas por el INIDE, se puede observar que un total de 576,669 habitantes residen en los 10 municipios que forman parte de la cuenca, 64% en el área urbana y 36% en el área rural.

Ahora bien, al analizar únicamente las cifras en el territorio dentro de la cuenca, se advierte que un 80% del total de la población rural (proveniente del 36% del total) en estos municipios, está ubicada dentro del parte aguas (164,559 habitantes). Lo que representa al mismo tiempo, un 93% de la población total, si se considera simultáneamente, el área urbana y la rural (535,299).

De la población radicada dentro de la cuenca, la mayor parte se ubica en los municipios de León (36%) y Chinandega (22%), seguidos por el Viejo (15%) y Chichigalpa (9%). Los municipios con menores porcentajes son El Realejo (2%) y Quezalguaque (2%).

Ahora bien, atendiendo la relación entre la poblacional en área urbana y área rural, los municipios con mayor población urbana son Corinto (99%), León (79%), Chichigalpa (73%), Chinandega (70%) y La Paz Centro (52%). Los municipios con mayor población rural son Quezalguaque (86%), Posoltega (85%), Telica (80%), El Realejo (55%) y El Viejo (54%).

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Tabla 6. Proyección del crecimiento poblacional en los municipios de la cuenca 64

Municipios	Población Censada (Censos INIDE ¹)			Población Estimada (Proyección INIDE ²)		Población Proyectada	
	1995	2005	Tasa Crecimiento R 1995-2005	2015	Tasa Crecimiento R 2005-2015	2025	Tasa Crecimiento R 2005-2025
Municipio El Viejo TOTAL	69,055	76,775	0.0106	87,259	0.0128	99,175	0.0128
El Viejo urbano		35,629		40,494		46,024	
El Viejo rural		41,146		46,765		53,151	
El Viejo rural (sólo cuenca)		35,947		40,856		46,435	
Total El Viejo urbano y rural (solo cuenca)		71,576		81,350		92,459	
Municipio Chinandega TOTAL	117,037	121,793	0.0040	133,730	0.0093	146,837	0.0093
Chinandega urbano		85,552		93,937		103,144	
Chinandega rural		36,241		39,793		43,693	
Chinandega rural (sólo cuenca)		22,014		24,172		26,541	
Total Chinandega urbano y rural (sólo cuenca)		107,566		118,109		129,684	
Municipio El Realejo TOTAL	8,154	8,838	0.0081	9,923	0.0116	11,141	0.0116
El Realejo urbano		3,954		4,439		4,984	
El Realejo rural		4,884		5,484		6,157	
El Realejo rural (sólo cuenca)		4,884		5,484		6,157	
Total El Realejo urbano y rural (sólo cuenca)		8,838		9,923		11,141	
Municipio Corinto TOTAL	17,177	16,624	- 0.0033	18,238	0.0093	20,009	0.0093
Corinto urbano		16,466		18,065		19,819	
Corinto rural		158		173		190	
Corinto rural (sólo cuenca)		158		173		190	
Total Corinto urbano y rural (sólo cuenca)		16,624		18,238		20,009	
Municipio Chichigalpa TOTAL	41,903	44,769	0.0066	46,760	0.0044	48,840	0.0044
Chichigalpa urbano		32,689		34,143		35,661	
Chichigalpa rural		12,080		12,617		13,178	
Chichigalpa rural (sólo cuenca)		12,080		12,617		13,178	
Total Chichigalpa urbano y rural (sólo cuenca)		44,769		46,760		48,840	
Municipio Posoltega TOTAL	15,331	16,771	0.0090	19,003	0.0125	21,532	0.0125
Posoltega urbano		2,492		2,824		3,199	
Posoltega rural		14,279		16,179		18,333	
Posoltega rural (sólo cuenca)		12,682		14,370		16,282	
Total Posoltega urbano y rural (solo cuenca)		15,174		17,193		19,482	

Municipios	Población Censada (Censos INIDE ¹)			Población Estimada (Proyección INIDE ²)		Población Proyectada	
	1995	2005	Tasa Crecimiento R 1995-2005	2015	Tasa Crecimien- to R 2005- 2015	2025	Tasa Crecimiento R 2005-2025
Municipio Telica TOTAL	22,779	23,266	0.0021	25,678	0.0099	28,340	0.0099
Telica urbano		4,624		5,103.37		5,632	
Telica rural		18,642		20,574.63		22,708	
Telica rural (sólo cuenca)		11,719		12,933.92		14,275	
Total Telica urbano y rural (sólo cuenca)		16,343		18,037		19,907	
Municipio Quezalguaque TOTAL	7,754	8,591	0.0103	9,609	0.0112	10,748	0.0112
Quezalguaque urbano		1,233		1,379.11		1,543	
Quezalguaque rural		7,358		8,229.89		9,205	
Quezalguaque rural (sólo cuenca)		7,358		8,229.89		9,205	
Total Quezalguaque urbano y rural (solo cuenca)		8,591		9,609		10,748	
Municipio León TOTAL	161,530	174,051	0.0075	194,674	0.0112	217,741	0.0112
León urbano		137,429		153,713		171,926	
León rural		36,622		40,961		45,815	
León rural (solo cuenca)		36,622		40,961		45,815	
Total León urbano y rural (solo cuenca)		174,051		194,674		217,741	
Municipio La Paz Centro TOTAL	27,509	28,118	0.0022	31,795	0.0123	35,953	0.0123
La Paz Centro urbano		14,718		16,642.68		18,819	
La Paz Centro rural		13,400		15,152.32		17,134	
La Paz Centro rural (sólo cuenca)		4,212		4,762.80		5,386	
Total La Paz Centro urba- no y rural (solo cuenca)		18,930		21,405		24,205	
Total municipios	488,229	519,596		576,669		640,314	
Total municipios urbano		334,786		370,740		410,751	
Total municipios rural		184,810		205,929		229,563	
Total municipios rural (solo cuenca)		147,676		164,559		183,463	
Total municipios urbano y rural (solo cuenca)		482,462		535,299		594,215	

1: VIII Censo de población y IV de vivienda, cifras oficiales. INIDE.

2: Cifras municipales, Proyección de población municipal 2005-2020, revisión 2007. INIDE.

En cuanto a tasas de crecimiento, el municipio de El Viejo fue el que mostró mayor incremento en el período intercensal (1995 - 2005) con 1.1%, seguido muy de cerca por Quezalaguaque (1%). El resto mostró tasas inferiores al 1%, iniciando con Posoltega (0.9%), El Realejo (0.8%), León (0.7%) y Chichigalpa (0.7%). El resto presentó tasas mucho más estables (inferiores al 0.5%), tales como Chinandega (0.4%), Telica (0.2%) y La Paz Centro (0.2%). El municipio de Chichigalpa, más bien mostró un decrecimiento (0.3%).

Según las proyecciones de INIDE para el año 2015, los municipios con tasas de crecimiento mayores al 1% son El Viejo (1.3%); El Realejo, Posoltega y la Paz Centro (cada uno con 1.2%); Quezalaguaque y León (ambos con 1.1%). Solamente con tasas de crecimiento inferiores al 1%, encontramos a Corinto (0.9%), Chinandega (0.9%) y Chichigalpa (0.4%).

Así, los municipios que se prevé, tendrán mayor incremento poblacional al año 2025, de mantenerse tasas de crecimiento, similares a las proyectadas por INIDE para el año 2015, serán Corinto, La Paz Centro, Telica, Chinandega y León. Los que menos crecimiento poblacional mostrarán, son Posoltega, El Realejo, El Viejo, Quezalaguaque y Chichigalpa.

Dentro de este escenario, para el año 2025 se tendría una población total de 640,314 habitantes en los 10 municipios, de los cuales un 64% se ubicarían en el área urbana y 36% en la rural, con una relación similar al de la población censada en 2005.

La población situada dentro de la cuenca, ascendería a un total de 594,215 habitantes, lo que representaría un 93% de la población total en los municipios, también con similares proporciones a la de la población censada en 2005. Pero la proporción de la población rural dentro de la cuenca, descenderá levemente (2%), si se compara un 31% del año 2005 con un 29% para el año 2025.

Estos datos poblacionales y sus proyecciones, incluyen solamente a los 10 municipios que mayor superficie poseen dentro del parteaguas de la cuenca (**tabla 1**), por lo que no están considerados acá, los habitantes asentados en los 15.96 km² del municipio de Puerto Morazán y 7.53 Km² del Municipio de Larreynaga.

La dinámica de crecimiento urbano, representada por la población censada en el año 2005, estimada para el año 2015 y proyectada para el año 2025, concuerda con el aumento de 15.28 km² de cobertura urbana, reportado en el "Análisis Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo en base a Imágenes Satelitales de la Cuenca 64 para el periodo 2002-2014" (Mendoza, 2014).

- La población estimada en la cuenca 64, para el año 2015, fue de 535,299 habitantes, de los cuales el 56% se concentra principalmente en las zonas urbanas de los municipios de León, Chinandega, El Viejo y Chichigalpa.
- Se prevé, que conforme una tasa de crecimiento promedio de aproximadamente 1.1%, para el año 2025, la población en los municipios de la cuenca 64, rondará cerca de los 640,314 habitantes, de los cuales un poco más del 90% estarán radicados, dentro del parteaguas (594,215 personas).

2 Meteorología

2.1 Precipitación

El análisis de la precipitación registrada en las 6 estaciones del área de trabajo se presenta en la **tabla 7**. En esta se presenta la precipitación medio anual que es el promedio de todos los registros anuales completos. Para determinar los escenarios de precipitación medio seca-, medio-, y medio lluvioso- se subdividieron los registros anuales de la estación de Chinandega en cuantiles⁵ de 33%. Claramente, los registros de precipitación anual que cubren el 33% de los valores más bajos son años medio secos (con una media de 1414 mm). Los registros que cubren el 33% de valores más altos son años medio lluviosos. El medio de estos años medio lluviosos da 2460 mm en la estación de Chinandega. Los valores definidos para los cuantiles de 33 - 66% son años medios con el medio de 1970 (mm) en Chinandega. En general, la desviación del año medio seco del año medio es más fuerte >30% que la desviación del año medio lluvioso del año medio, que es < 30%.

Tabla 7. Precipitación en 6 estaciones meteorológicas de la Cuenca 64 para periodos climáticos diferentes.

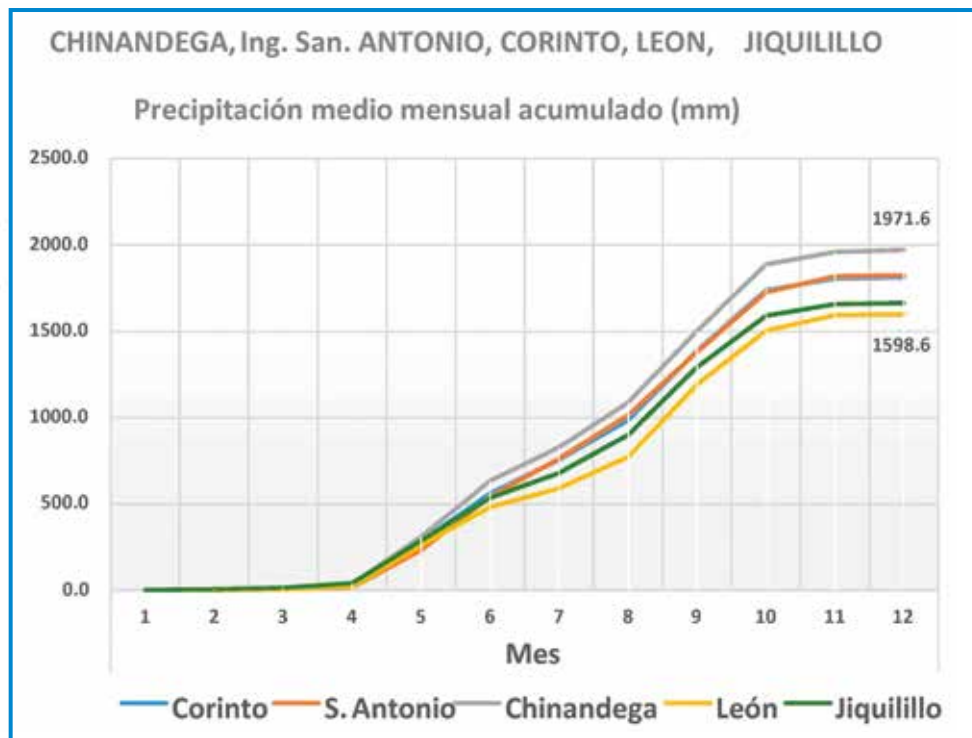
Estación	Código	Tiempo (años)	Precipitación (mm)			
			medio mensual	medio	medio seco	medio lluvioso
Chinandega	64018	1966-2015	1999	1970	1414	2460
Posoltega II	64045	1962-1982	1964	1872	1239	2433
Ingenio San Antonio*	64022	1958-1997	1823	1816	1172	2336
Corinto	64034	1958-2015	1831	1803	1278	2349
León**	64043	1974-2014	1605	1470	1027	2204
Salinas Grandes	64053	1995-2006	1486	1485	1023	1892

* Los periodos climáticos se establecieron para la cantidad de años disponibles, estos pueden variar si se realizan para el periodo completo de medición comprendido para esta estación. **De esta estación se tiene información hasta junio de 2015, sin embargo, para el análisis de los periodos climáticos se tomó el 2014 como último año pluviométrico completo.

La **figura 2** comprueba el comportamiento similar de la precipitación las estaciones meteorológicas frente a la precipitación medio mensual acumulada. Por consiguiente la precipitación de cada una de estas estaciones puede utilizarse para los análisis hidrogeológicos en la cuenca.

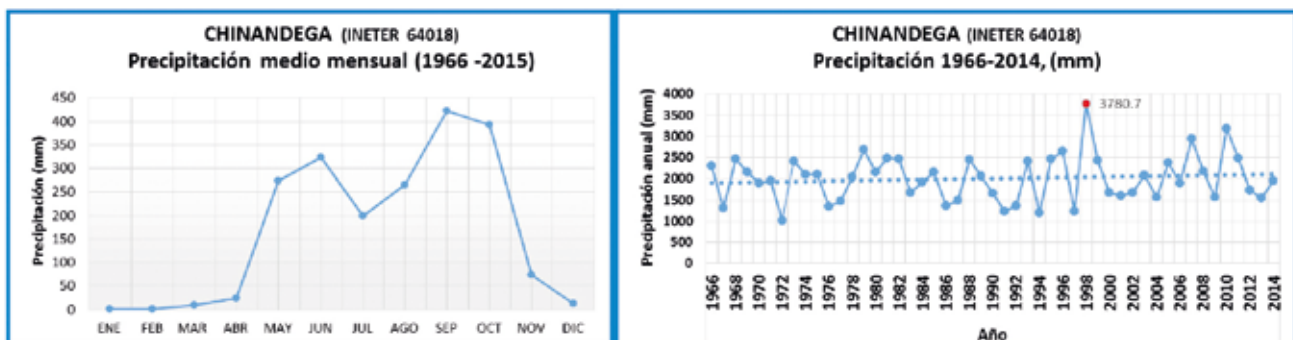
⁵.Cuantiles: Son valores de una variable (en este caso se tomó la precipitación), que ordenados de menor a mayor, dividen a la distribución en partes, de tal manera que cada una de ellas contiene el mismo número de frecuencias (repetición de cada año de precipitación clasificados en: seco, normal o medio y lluvioso).

Figura 2. Precipitación medio mensual acumulada para las 5 estaciones meteorológicas de la Cuenca 64.



La **figura 3a** (izquierda) demuestra la distribución típica de la precipitación mensual en Nicaragua, con una marcada reducción de la precipitación estacional durante los meses de julio y agosto, época conocida como “la canícula”. En la **figura 3b** (derecha) parte derecha se muestra la tendencia anual cronológica de la precipitación de la estación de Chinandega que puede ser muy diferente de un año a otro, por ejemplo la precipitación anual de 1972 fue de 1015 mm y la de 1973 se registró en 2402 mm.

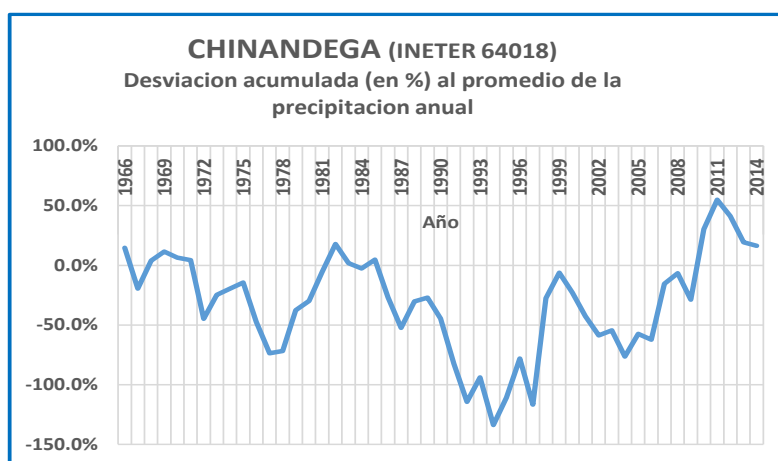
Figura 3. Precipitación medio mensual y anual de la estación meteorológica de Chinandega.



Así mismo el medio anual subió de 1950 (mm) a 2050 (mm) en 48 años. La media anual de los 50 años de observación se situó en 2000 (mm) aproximadamente y demuestra una ligera tendencia ascendente. El año 1998 destaca con una precipitación excepcional de 3780 (mm) y 1985 (mm) de lluvia en Octubre, 5 veces el valor medio mensual, causado por el huracán Mitch.

En Chinandega la desviación alcanza hasta 1400 (mm) de un año al otro, por ejemplo 1072 (mm) en 1972 y 2404 (mm) en 1973. Se nota la sucesión frecuente de dos y hasta tres años del mismo escenario climático, es decir dos a tres años medios, secos o lluviosos consecutivos (Ver **figura 4**).

Figura 4. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la precipitación medio anual



La desviación acumulada del promedio anual de la precipitación permite detectar ciclos con precipitación deficiente y excedente. Se determinaron ciclos grandes, medios y pequeños, un primer ciclo grande con escasa precipitación empezó con los registros en 1966 y llegó a su punto inferior en 1994, seguido por un segundo ciclo con abundante precipitación que culminó en 2011.

La precipitación disminuye en la cuenca de noroeste hacia sureste y desde la cadena de los volcanes hacia el océano, es decir de nordeste hacia suroeste. El máximo se ha registrado en la estación de Chinandega, 1970 (mm) y el mínimo en la estación de León y en el pluviómetro de Salinas Grande, adonde puede disminuirse a menos de 700 (mm) durante los años secos. La precipitación media de León con 1470 (mm) y la de Salinas Grandes con 1485 (mm) son idénticas y se distinguen solamente en el valor más alto del año medio lluvioso en León (**tabla 8**).

Estas observaciones son de gran importancia para el cálculo del balance hídrico, porque permiten asignar las estaciones HMP a las diferentes subcuencas. La precipitación de la estación de Chinandega es decisiva para las subcuencas de los ríos Atoya y Tesorero. La estación del ingenio San

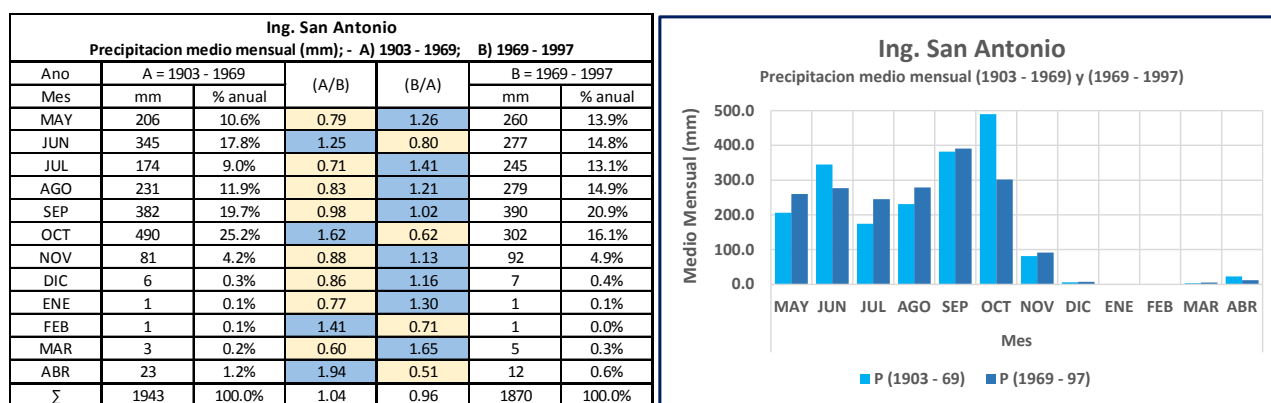
Antonio determina la precipitación para las subcuencas de los ríos Sucio, Posoltega, y Telica. Todos las demás subcuencas, es decir río Chiquito, Salinas Grandes, Izapa y Tamarindo, corresponden a la precipitación de la estación de León.

Tabla 8. Valores extremos de registros de precipitación en las estaciones meteorológicas de la Cuenca 64.

Estación	Código	Valores extremos de precipitación anual (mm)			
		min	Año	max	Año
Chinandega	64018	1015	1972	3780.0	1998
Posoltega II	64045	1142.7	1976	2787.9	1981
Ingenio San Antonio	64022	1016.6	1959	2844.1	1960
Corinto	64034	847.9	1972	2966.2	2010
León	64043	614.4	1976	2547.5	1998
Salinas Grandes	64053	671	2004	2013.4	1997

En la **figura 5** se ha comparado la precipitación medio mensual de 66 años en la primera mitad del siglo pasado, con 28 años en la segunda mitad del siglo pasado. Los datos proceden de la estación meteorológica de San Antonio, estos son todos los datos disponibles para el análisis, se tiene conocimiento que la estación tiene datos más recientes pero no pudieron ser adquiridos para este estudio.

Figura 5. Comparación de la precipitación en la primera y segunda parte del siglo 20 en la estación meteorológica del ingenio San Antonio.



Los datos reflejan una debilitación de los valores de cresta de la lluvia en junio y octubre, además de un incremento de la lluvia en los demás meses de la estación lluviosa y en forma general una extensión de la estación lluviosa. Se han comparado los días con valores de lluvia mayor a 0 (mm), 10 (mm) y 30 (mm) de la estación lluviosa para dos periodos de 13 años: periodo 1 de 1957 - 1969, periodo 2 de 1984 -1996 (tabla 9). El resultado es determinante: para todas las clases de lluvia, el número de días que llueve es mayor en el periodo más reciente. Las observaciones sobre la precipitación indican un aumento general de los días y los meses con

lluvia, un debilitamiento de los eventos extremos de lluvia y por ende un desarrollo favorable desde un punto de vista para uso de agua.

Tabla 9. Comparación de la precipitación diaria para dos períodos de 13 años en la estación ingenio San Antonio.

ING SAN ANTONIO, DIAS CON LLUVIA, 1957/69 - 1984/96			
MAYO; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	5	3	2
PERIODO 1984 - 1996	10	4	2
JUNIO; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	13	8	5
PERIODO 1984 - 1996	18	10	3
JULIO; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	11	1	0
PERIODO 1984 - 1996	16	8	2
AGOSTO; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	8	3	0
PERIODO 1984 - 1996	15	8	2
SEPTIEMBRE; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	16	8	3
PERIODO 1984 - 1996	25	12	4
OCTUBRE, DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	16	9	3
PERIODO 1984 - 1996	21	10	3
NOVIEMBRE; DIAS CON LLUVIA			
MEDIANO de la PRECIPITACION	(> 0 mm)	(> 10 mm)	(>30 mm)
PERIODO 1957 - 1969	4	2	0
PERIODO 1984 - 1996	10	3	0

PERIODO 1957 -1969: The Water Resources of Nicaragua. Final Technical Report, Vol.II, III-A-85. Catastro y Recursos Naturales.(1970)

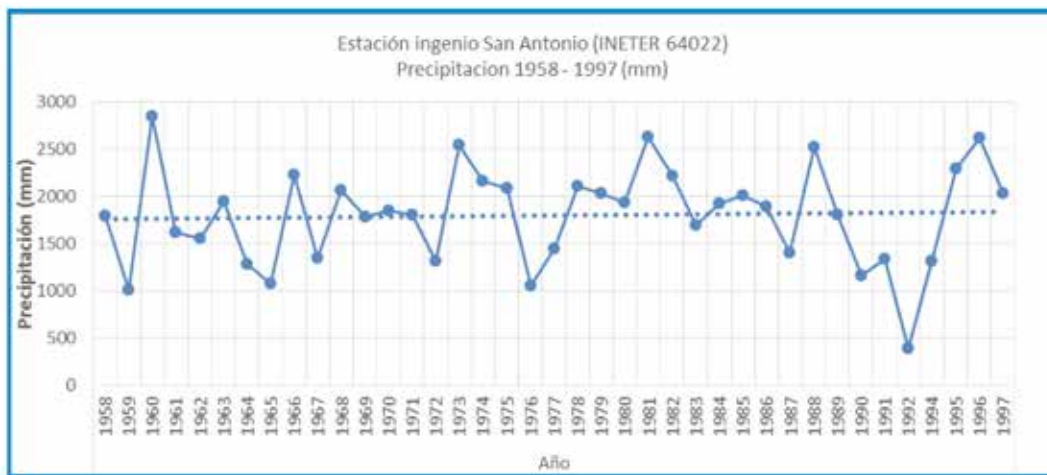
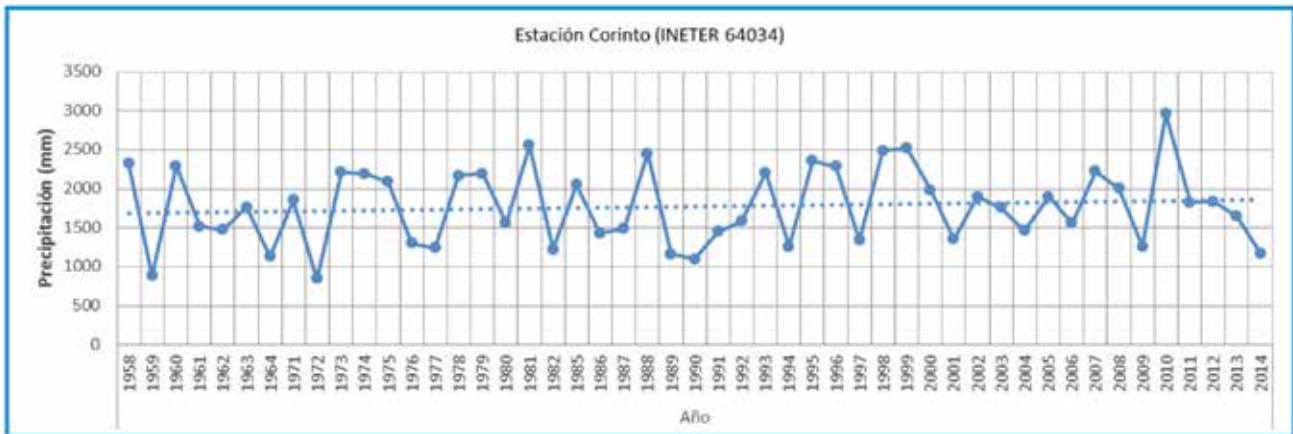
Comparación para la estación lluviosa:

- días con lluvia: > 0 (mm)
- días con lluvia: >10 (mm);
- días con lluvia: > 30 (mm):
- para los 13 años: **1957 - 1969**
- para los 13 años: **1984 - 1996**

La **figura 6** muestra el comportamiento de la lluvia en la estación Corinto para el período de 1958 a 2014 y de San Antonio para 39 años. El comportamiento de la estación Corinto es muy variable al igual que en la estación Chinandega, también con una ligera tendencia ascendente a lo largo de los años (línea azul punteada en la gráfica). Para esta zona de Chinandega y Corinto los resultados del comportamiento son similares, aunque no se puede asumir como representativo para toda la cuenca.

Por otro lado para la estación San Antonio sólo se tiene disponible 39 años de los más de cien años que tiene registrado dicha estación. Para el periodo mostrado en la gráfica, la línea de tendencia es ascendente; sin embargo se tiene conocimiento que para todo el período medido (1890 a 2010), se presenta un descenso de la pluviosidad (entrevista a José Milán en www.el19digital.com, Política de cambio climático en Nicaragua).

Figura 6. Precipitación cronológica de la estación Corinto y San Antonio



2.1.1 Determinación de la precipitación areal en la cuenca

La precipitación en la cuenca se determinó aplicando el método de Thiessen (ver **mapa 10**). A falta de datos de la estación de Telica, se utilizó el valor de la precipitación de León, tampoco se tiene información climática para el área de Nagarote y La Paz Centro. La precipitación de esta área fue considerada idéntica con la de la estación Salinas Grandes. De este análisis se determinó el área de influencia de cada estación dentro de la cuenca y para la superficie del acuífero dentro de la cuenca (**tabla 10, 11 y 12**).

Tabla 10. Superficie de influencia de las estaciones meteorológicas en la Cuenca 64.

ID	Código	Estación	Tipo	km ²
1	64035	Jiquilillo	PV	495.63
2	64062	Telica	PVT	396.98
3	64052	Punta Ñata	PV	197.15
4	64034	Corinto	HMP	199.68
5	64045	Posoltega	PV	252.54
6	64018	Chinandega	HMP	402.03
7	64022	Ingenio San Antonio	HMP	240.67
8	64043	León	HMP	364.21
9	64053	Salinas Grandes	PV	370.28

Tabla 11. Superficie de influencia de las estaciones meteorológicas del acuífero de Occidente.

Código	Estación	Tipo	Superficie (km ²)
64018	Chinandega	HMP	402.04
64045	Posoltega	PV	252.54
64022	Ingenio San Antonio	HMP	240.67
64034	Corinto	HMP	199.69
64043	León	HMP	364.22
64062	Telica	PVT	396.98
64053	Salinas Grandes	PV	370.29
	Sector Nagarote, La Paz Centro	sin estación	

Sobre la línea de combinación entre dos estaciones se erige la mediatriz. Las mediatrices de las diferentes estaciones se cortan. Los puntos de intersección se conectan y forman polígonos alrededor de cada estación. La superficie del polígono se multiplica con la precipitación medida en la estación referente (**tabla 12**).

Tabla 12. Resultados del cálculo de la precipitación media en el área de trabajo.

1	2	3	4	5
Nombre estación	P-medio (mm)	Superficie (km ²)	(2x3)	$\Sigma (4) / \Sigma (3)$
Chinandega	1971	402.04	792414.681	
Posoltega II	1523.9	252.54	384845.706	
Ing. San. Antonio	1896	240.67	456310.32	
Corinto	1742	199.69	347859.98	
León	1579	364.22	575103.38	
Telica**	1579	396.98	626831.42	
Salinas Grande	1466.8	370.29	543141.372	
Nagarote, La Paz Viejo*	1466.8	370.29	543141.372	
Acuífero del Occidente		2596.72	4269648.23	1644.24866
*Se adoptó la misma precipitación que para Salinas Grandes. ** Se utilizó precipitación de León				

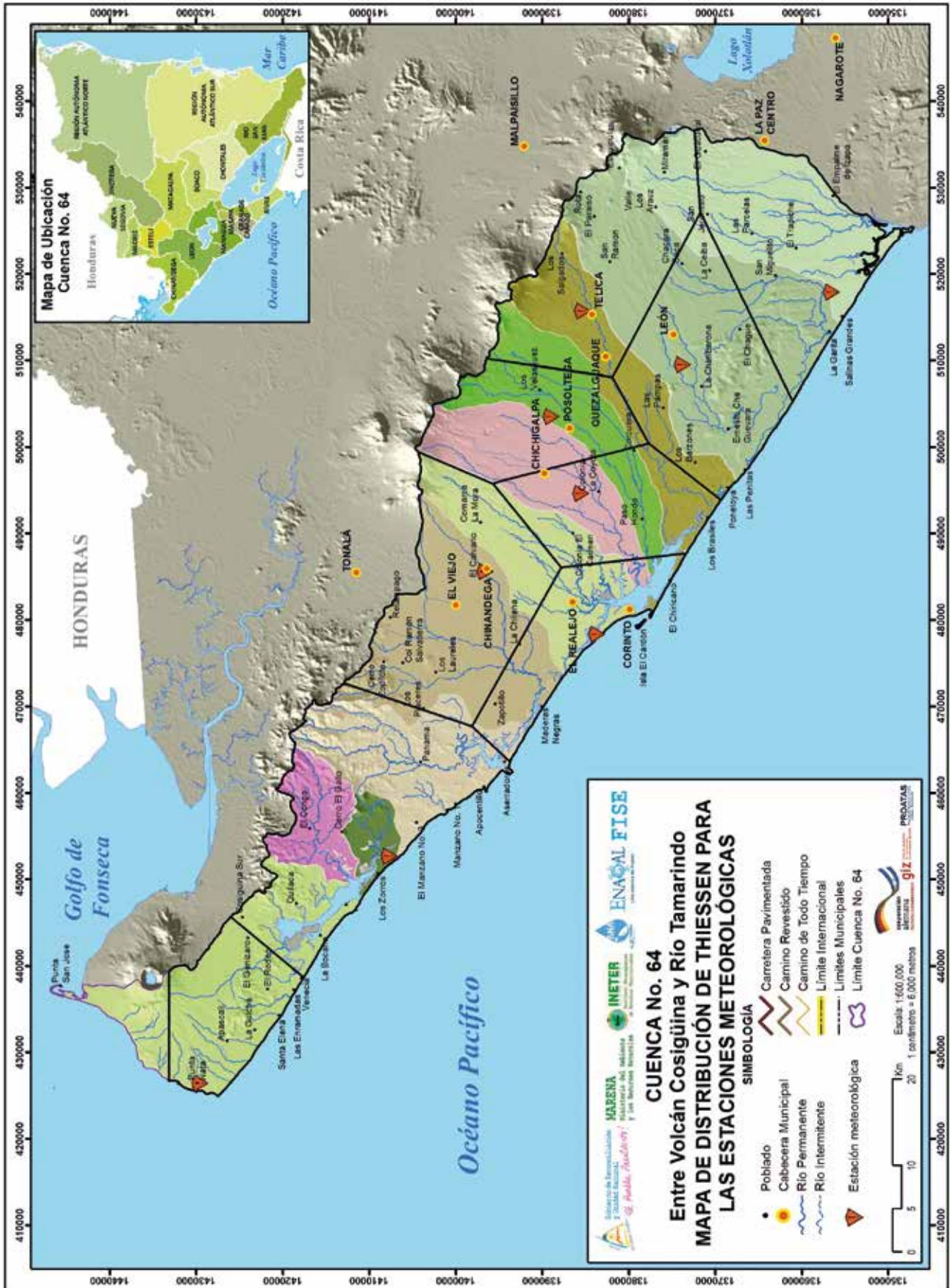
La suma de la precipitación de la superficie de cada estación se divide entre la suma de la cuenca lo que resulta en una precipitación representativa por año de pluviosidad (**tabla 13**). Así, la precipitación en la cuenca para un año medio, año seco y un año lluvioso asciende - para el periodo entre 1970 y 2015 - a:

Tabla 13. Pluviosidad estacional de la Cuenca

Precipitación	Valor (mm)
Año medio	1651
Año medio seco	1141
Año medio lluvioso	2203

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

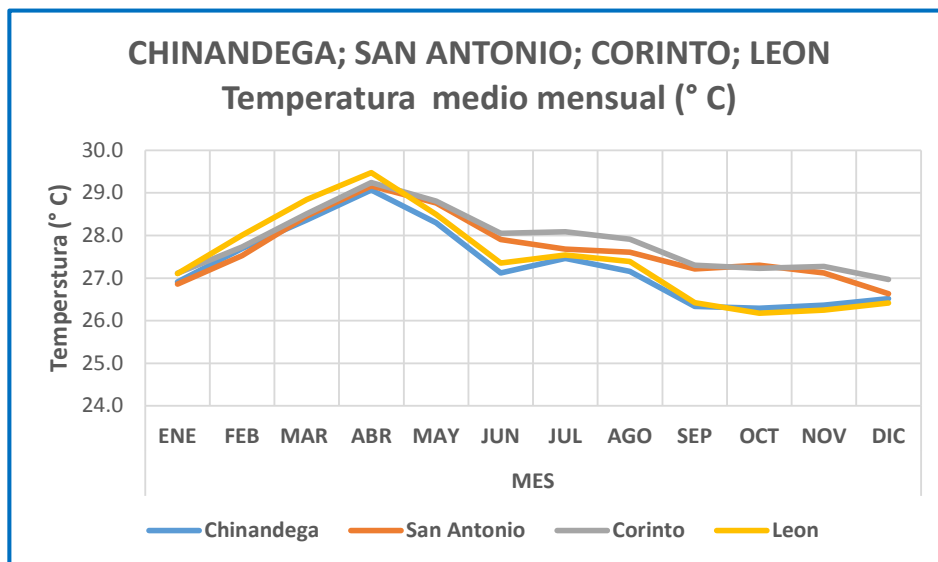
Mapa 11. Área de influencia de las estaciones de precipitación según los polígonos de Thiessen en la Cuenca 64



2.2 Temperatura

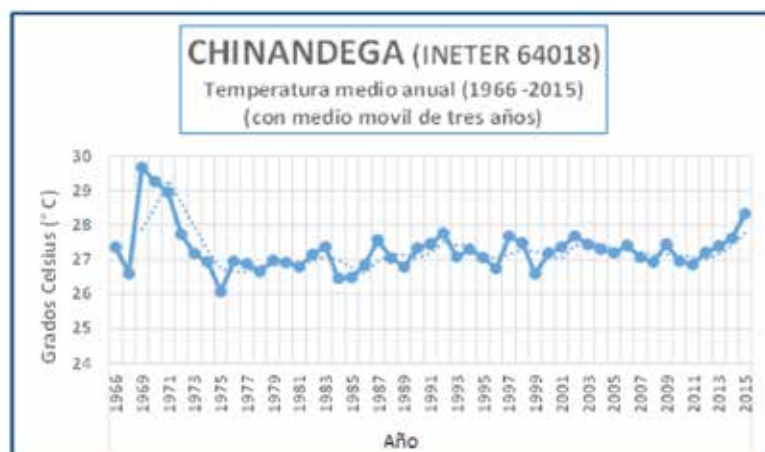
El comportamiento de la temperatura medio mensual en las 4 estaciones Hidro Meteorológica Principal (HMP) es idéntico (**figura 7**). La temperatura medio mensual fluctúa poco entre 26.2 y 29.5 (°C). El máximo es alcanzado en el mes de abril, el mínimo en octubre. La estación de Corinto con su ubicación próxima al océano Pacífico muestra la variación de temperatura más moderada y al mismo tiempo las temperaturas más altas registrados en la estación lluviosa.

Figura 7. Temperatura medio mensual en las 4 estaciones hidrometeorológicas principales de la C64



La temperatura anual registrada sobre un periodo de casi 50 años en la estación de Chinandega se comporta muy estable, con dos anomalías al principio y al fin del periodo de observación (fig. 8).

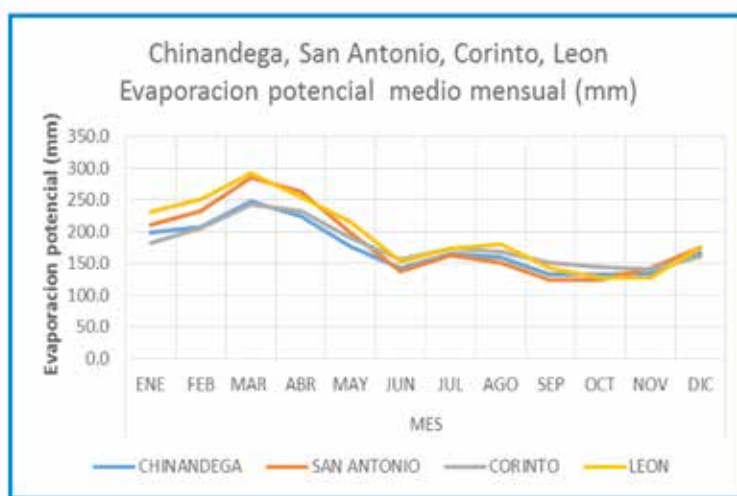
Figura 8. Cronología de la temperatura anual en la estación meteorológica de Chinandega.



2.3 Evaporación

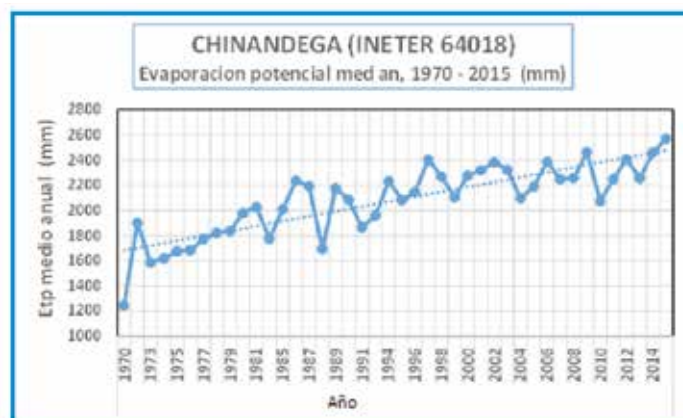
El comportamiento de la evaporación potencial en las 4 estaciones HMP es idéntico. La evaporación potencial medio mensual fluctúa poco entre 300 (mm) y 130 (mm). El máximo es alcanzado en el mes de marzo, el mínimo en octubre (fig. 9).

Figura 9. Evaporación potencial medio mensual en las 4 estaciones HMP de la Cuenca 64



La estación de León es la más continental de las 4 estaciones y muestra la evaporación potencial más alta. La evaporación potencial aumenta en todas las estaciones de la cuenca, pero más drásticamente en la estación de Chinandega (figura 10). El promedio anual pasaba de 1700 (mm) en 1970 a 2500 (mm) en 2014, un aumento de 47% respecto al valor medio inicial. Como ya se ha comprobado, la evaporación potencial está estrechamente condicionada con la temperatura (vea fig. 7).

Figura 10. Cronología de la evaporación potencial en la estación meteorológica HMP de Chinandega.

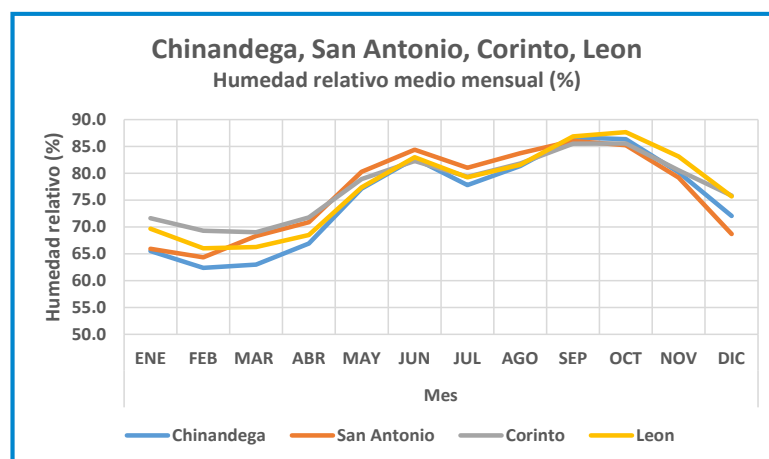


Sin embargo, la temperatura de la estación de Chinandega (vea fig. 8), ni en los demás estaciones, muestra una tendencia ascendente clara.

2.4 Humedad relativa

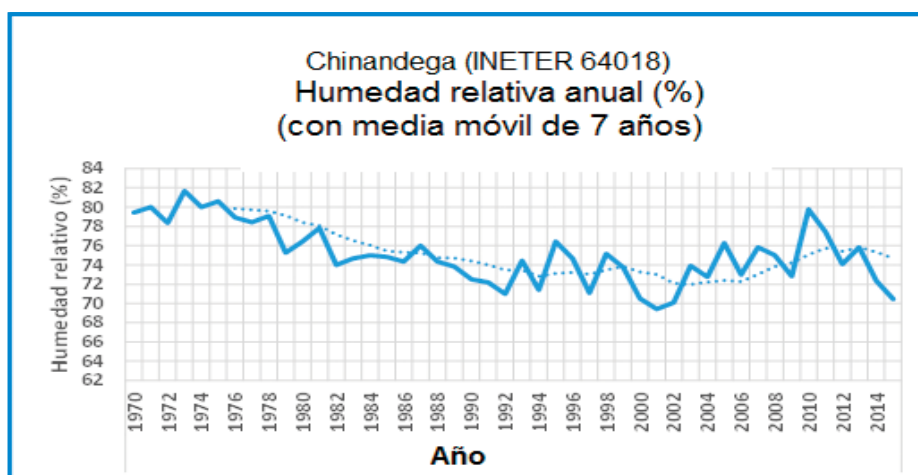
El comportamiento de la humedad relativa en las 4 estaciones principales (HMP) es idéntico (fig. 11). La humedad relativa medio mensual está obviamente condicionada con la precipitación medio mensual. Sus valores son bajos durante la estación seca y altos durante la estación lluviosa hasta alcanzar la "canícula" que se dibuja en la gráfica como un marcado descenso. El máximo es alcanzado en el mes de octubre y el mínimo en el mes de febrero.

Figura 11. Humedad relativa medio mensual en las 4 estaciones hidro-pluviométrica de la C64



El registro anual de la humedad relativa en la estación de Chinandega muestra el efecto de ciclos de años secos y lluviosos, lo que acentúa otra vez la estrecha correlación entre precipitación y humedad relativa (fig. 12).

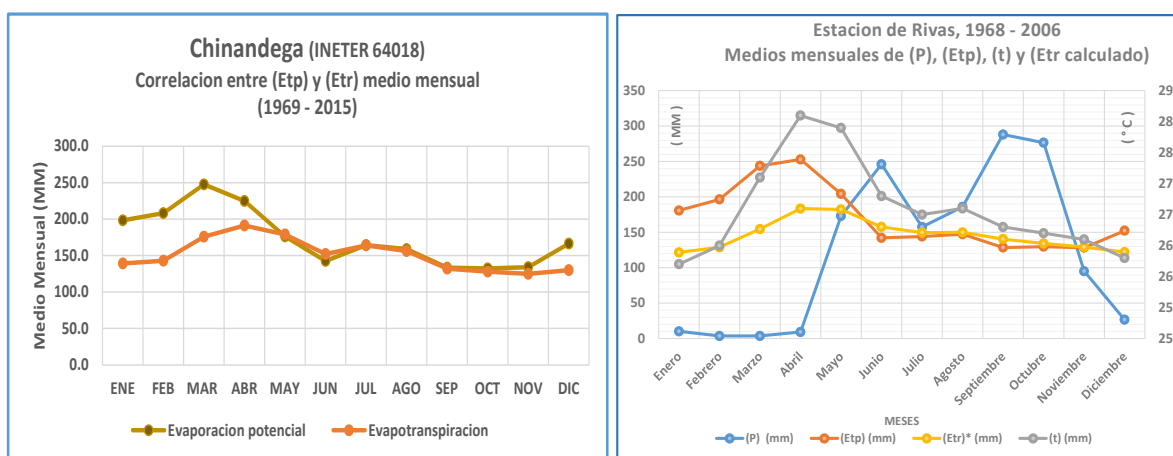
Figura 12. Cronología de la humedad relativa en la estación meteorológica de Chinandega



2.5 Correlaciones

En la **figura 13** se puede observar la comparación de la evaporación potencial medio mensual medida con la evapotranspiración medio mensual calculada. La correlación a nivel anual es débil con un coeficiente de correlación de solamente 0.57. Sin embargo, limitando la correlación a los meses de mayo hasta octubre, el coeficiente de correlación aumenta a 0.95, indicando una coincidencia perfecta.

Figura 13. Correlación de la evaporación potencial medio mensual medida con la evapotranspiración medio mensual calculada (Estación meteorológica de Chinandega y Rivas)



La coincidencia entre los dos términos de evaporación durante los meses de la estación lluviosa es de gran importancia para la aplicación del método de Lillich (ver capítulo siguiente).

La relación entre los dos términos es idéntica en todas las estaciones de la cuenca y confirma la misma observación hecha en la estación de Rivas durante la elaboración del plan GIRH de la Cuenca 72 específicamente para la subcuenca de San Juan del Sur (ANA-PROATAS GIZ-2017).

A continuación se comparan los términos climáticos en pares con sus mejores coincidencias (nivel medio mensual), cuando no coincidían se realizó una comparación a nivel anual (**fig. 14 y 15**). La pareja de términos utilizados son la precipitación y la humedad relativa; la evaporación potencial y la temperatura.

Figura 14. Correlación entre precipitación y humedad relativa medio mensual; y precipitación y humedad relativa anual.

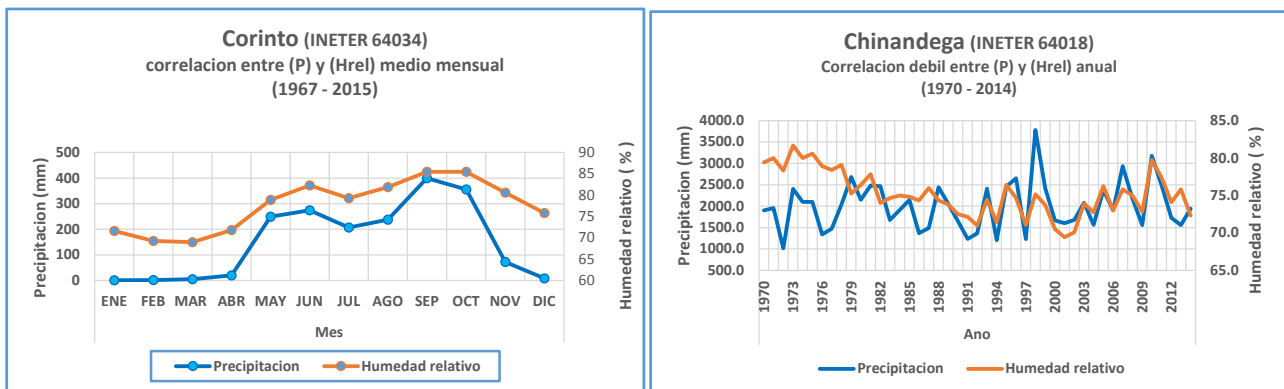
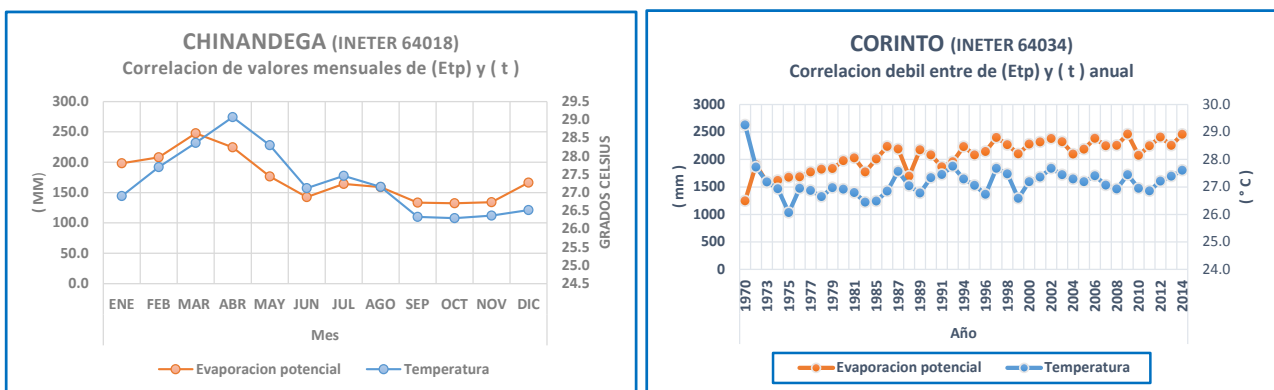
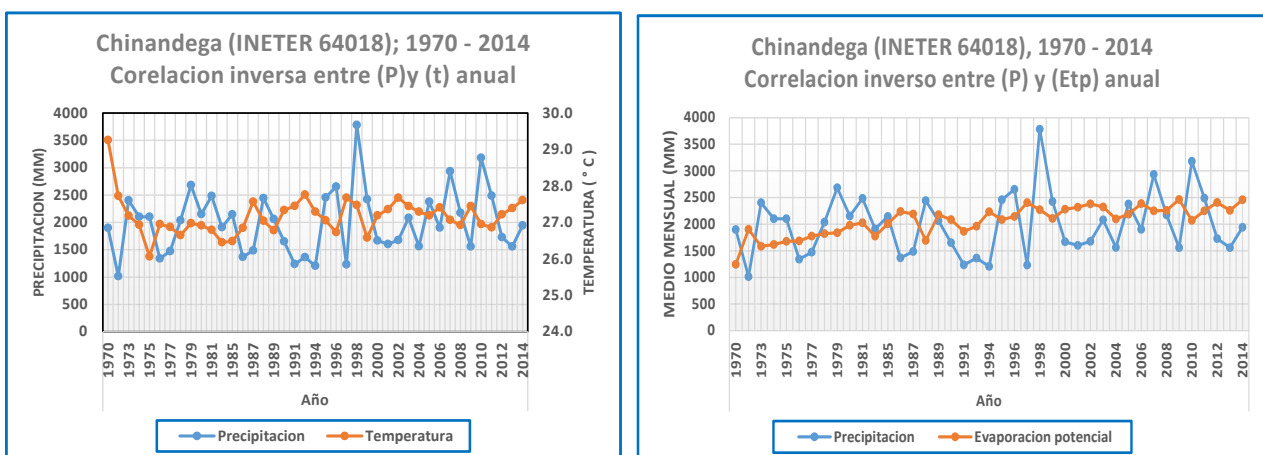


Figura 15. Correlación entre evaporación potencial y temperatura medio mensual y evaporación potencial y temperatura anual (Estaciones meteorológicas de Chinandega y Corinto).



Las parejas de términos climáticos “precipitación / temperatura y precipitación / evaporación potencial” no coinciden a nivel medio mensual y tienen correlaciones inversas a nivel anual (figura 16).

Figura 16. Correlación inversa de datos anuales de precipitación-temperatura y precipitación- evaporación potencial (Estación meteorológica de Chinandega).



- La precipitación anual cronológica (49 años de registro) de la estación Chinandega y Corinto varía mucho de año a año, sin una tendencia clara de aumento o descenso.
- En la precipitación de la estación del ingenio San Antonio con más de 100 años de registros, se determinó una tendencia descendente.
- El valor de precipitación promedio anual en la Cuenca 64 es de 1651 mm.
- La evaporación potencial ha aumentado de 1700 (mm) a 2500 (mm) en los 44 años (1970 - 2014).
- La temperatura no muestra una tendencia clara ascendente que pueda correlacionarse con la evaporación potencial.

3 Agua Superficial

3.1 Red hidrológica

En esta sección se destacan los parámetros más relevantes de la cuenca (**tabla 14**, también mostrado en la **tabla 1**). La densidad de drenaje indica cuan disecado se encuentra el relieve por sus canales hídricos, y así refleja la tendencia del drenaje de la cuenca al generar escorrentía superficial y la erosionabilidad de los materiales superficiales. Las regiones con alta densidad de drenaje limitarán la infiltración y promueve la escorrentía y tiene por lo menos materiales moderadamente erosionables.

La cuenca tiene dos patrones de drenaje principales: radial y dentrítico, el primer patrón es característico de zonas volcánicas, se desarrolla donde los afluentes desembocan de un punto alto de volcanes o de estructuras geológicas en forma de domo.

Tabla 14. Parámetros de drenaje para las subcuencas principales (MARENA, 2010)

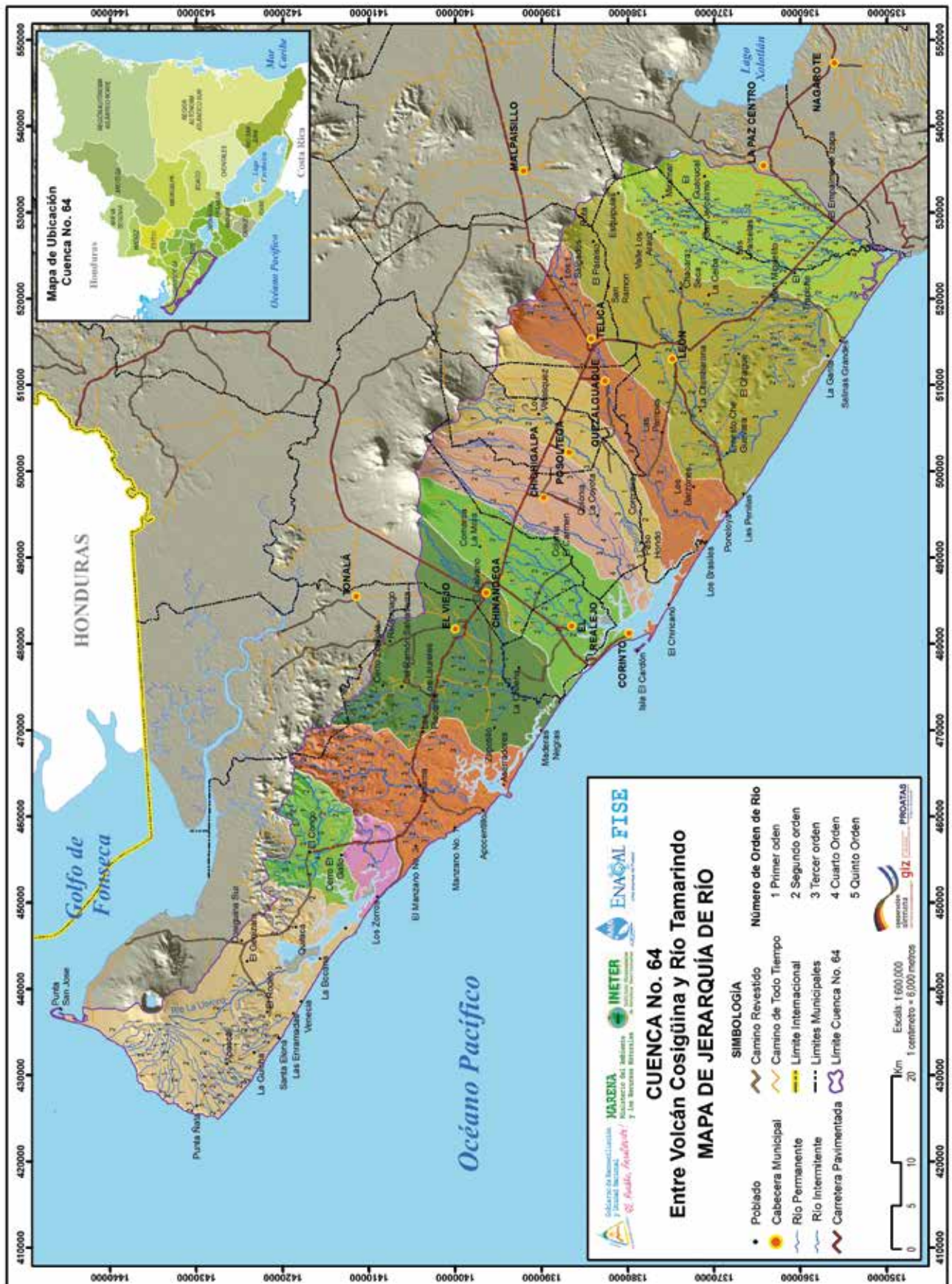
No	Subcuenca	Río	Orden de corriente	Pendiente de la corriente (%)	Densidad de drenaje (km/km ²)
1	Estero Ciego	Izapa	4	1.1	0.1
2	Estero El Limón	Amalia - Sucio	4	4.6	0.15
3	Estero El Realejo	El Tesorero	3	1.5	0.12
4	Estero La Virgen	La Virgen	4	1.7	0.18
5	Estero San Cayetano	Quebrada Arenosa	2	1.9	0.18
6	Río Atoya	Atoya	4	2.1	0.09
7	Río Chiquito	Salinas Grande	4	0.7	0.06
		Chiquito	2	0.4	0.07
8	Río Posoltega	Posoltega	3	1.7	0.19
9	Río Telica	Quezalguaque (Telica)	3	1.3	0.2
10	Río Viejo	Viejo	4	1.2	0.13
11	Estero Puerto Arturo	La Llorona	3	2.8	0.05

El **mapa 12** muestra la distribución del drenaje y orden hidrológico de los ríos de acuerdo con la clasificación "Strahler" (Strahler 1952, 1957). De acuerdo a la clasificación realizada el orden de predominancia es 1, sin embargo como se ha mencionado anteriormente los ríos más importantes según su densidad y tamaño corresponde al orden 4. Las imágenes de abajo muestran la morfología de la desembocadura de los ríos de la cuenca (**fotos 6 a 9**).



Foto 6. Superior izquierda, río Los Mangles, parte baja ubicada en Chichigalpa. **Foto 7.** Superior derecha, río Posoltega, parte baja ubicada en Chichigalpa. **Foto 8.** Inferior izquierda, río las Lajas, parte baja, ubicada en El Realejo. **Foto 9.** Inferior derecha, río Tesorero, parte baja en El Realejo.

Mapa 12. Orden jerárquico de los ríos de la Cuenca 64



3.2 Estado actual cuantitativo y cualitativo de las aguas superficiales y sus fuentes de contaminación

3.2.1 Estado actual cuantitativo

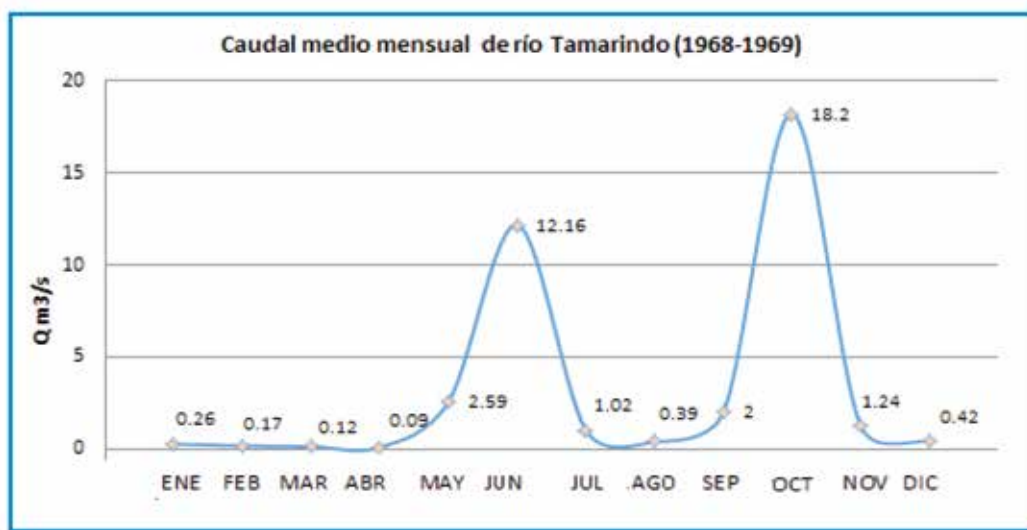
Como ya se describió en la sección 1.1, la Cuenca 64 cuenta con 11 ríos, además del río Tamarindo como límite de cuenca en la parte suroeste. Ninguno de los 11 ríos posee registros de caudales continuos; ya que no existen estaciones hidrométricas que hayan funcionado o estén funcionando en la actualidad.

Si se tienen datos puntuales de caudales de ríos de Ayota y Tamarindo; pero no son representativos de todos los ríos en sí ni de la toda la cuenca. Por ejemplo hay mediciones de un día en un mes específico y esa misma medición se registró como una medición anual. Sólo la estación del río Tamarindo ha proporcionado datos fiables en toda el área de estudio, con un periodo de vigilancia con muchas interrupciones desde 1954 hasta 2014.

La segunda estación mencionada es Ceylán, río Atoya. Esta estación no es adecuada para realizar aforos durante la estación lluviosa y los datos proporcionados para los años 1971-80 tienen que ser analizados con cuidado. Para la estación del Tamarindo se tienen datos de escorrentía con caudales medio diarios para un año hidrológico completo (1968/69), publicados por CATASTRO Y RECURSOS NATURALES (1970) (**fig. 17**). El análisis de estos datos corresponde con los datos publicados por INETER (1999).

Aún con estas mediciones más recientes, no existe un caudal representativo para la Cuenca 64, puesto que el resto de ríos de las otras subcuencas sólo han tenido mediciones esporádicas o bien están intervenidos artificialmente por extracción de riego. En el ejemplo del comportamiento del río Tamarindo para el año 68/69 de la gráfica descrita abajo (**figura 17**), se tomaron en cuenta 211 mediciones mensuales de las 625 mediciones disponibles, una medición media por cada mes con mediciones dando como resultado un caudal promedio 3.22 m³/s.

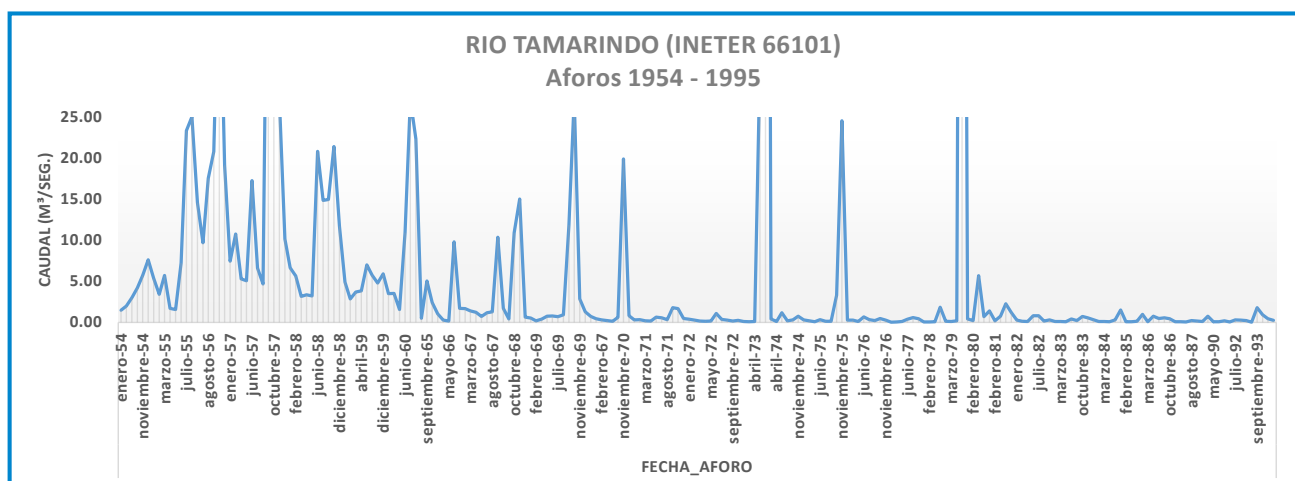
Figura 17. Distribución del caudal medio mensual del río Tamarindo. (año 1968-1969).



Para el río Tamarindo se tiene un registro con 625 mediciones puntuales. La primera medición data del 11.01.1954, la última del 22.05.1995 (figura 18). Las mediciones cubren un total de 211 meses y se midió en todos los meses del año. En muchas ocasiones hay más de una medición el mismo mes, pero nunca mediciones diarias continuas.

La excepción es el año hidrológico 1968/69 con 365 mediciones medio diarias (vea capítulo 8), hay 8 series de mediciones, que se prestan para un análisis de recesión y poder obtener datos de flujo base. Las curvas obtenidas son difíciles de evaluar y los resultados obtenidos son mucho más variables que en el ejemplo de la subcuenca del río Atoya.

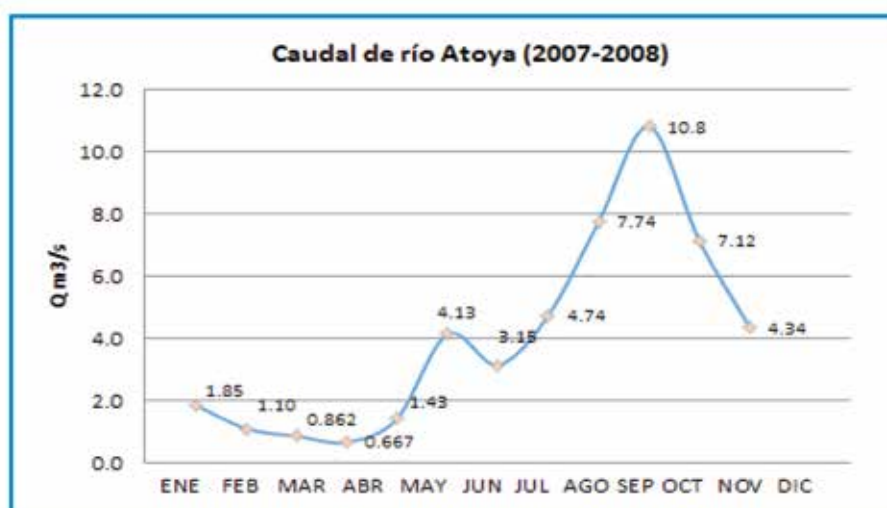
Figura 18. Comportamiento de las mediciones de caudales del río Tamarindo



Durante los primeros 10 años, de 1954 hasta 1964, el flujo de agua en el río Tamarindo fue fuerte (**figura 18**). El flujo mínimo durante la estación seca no bajaba a menos de 1 (m³/s). En el mes de agosto de 1965 se observa la primera medición con un caudal inferior a 1 m³/s (agosto 1965 = 0.53 m³/s). De 1965 hasta 1970, los caudales en la estación seca se mantuvieron alrededor de 0.5 (m³/s), después de 1970, el caudal medio mensual bajó continuamente y alcanzó 0.09 (m³/s) en mayo de 1985. De ahí hasta el fin de las mediciones, los caudales en la estación seca se situaron frecuentemente entre el margen de 0.5 hasta 0.08 (m³/s).

Además se contó con una serie de aforos ejecutados por el personal técnico de la Dirección de Recursos Hídricos de INETER en la estación Ceylán en el río Atoya (INETER 6411) durante el periodo de 2000 - 2014, aunque el único año completo fue 2007 (**figura 19**). La estación de Ceylán controla 320 km² del total de 370 km² de la subcuenca.

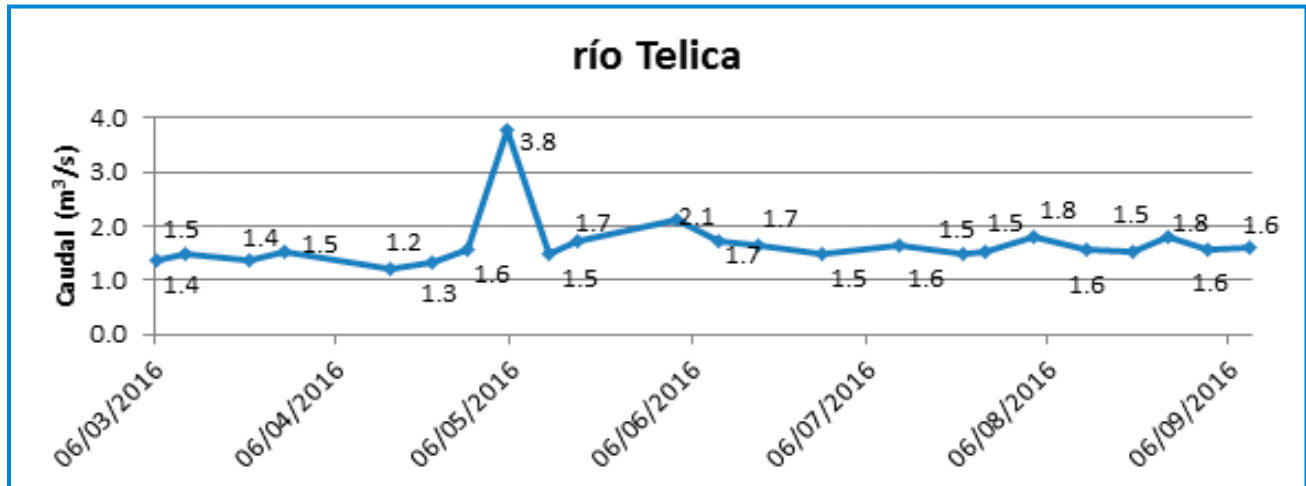
Figura 19. Distribución del caudal del río Atoya (2007)



En el marco de la elaboración de este diagnóstico, INETER realizó mediciones quincenales y mensuales de aforos en 6 ríos desde marzo 2016 a marzo 2017 para determinar inicialmente el caudal promedio anual y el flujo base de los ríos de la cuenca (**Anexo 1.1**). El flujo base debe iniciarse durante el mes de noviembre, ya que puede ser considerado como el mes donde fluye el caudal mensual promedio de los ríos de la cuenca y continuar la medición durante todo el periodo seco. Para el caso de la cuenca 64, el mes de noviembre es considerado el más adecuado porque no hay intervención por extracción superficial y subterránea; ya que todavía la caña se riega con agua de lluvia. Si bien abril es el mes más seco del año y saldría el caudal sin ninguna influencia de lluvia, este es considerado el flujo base mínimo de toda la época seca.

En la gráfica siguiente se muestra los resultados de los aforos quincenales realizados durante 6 meses en el río Telica con valores entre 1.2 a 3.8 m³/s (figura.20).

Figura.20. Mediciones de caudal de río Telica



Los aforos mensuales realizados a 4 ríos de la Cuenca en 2016 (río: Los Arcos, Atoya, La Leona, Telica) durante la misma semana se obtuvieron rangos de caudales en marzo de 0.585 a 1.356 m³/s, en abril de 0.1 a 1.56 m³/s, mayo de 0.204 a 1.73 m³/s, junio de 0.029 a 1.65 m³/s y julio de 0.023 a 1.508 m³/s (**ver anexo 1.1**).

De las observaciones realizadas en el río Tamarindo se puede determinar en un cambio climático de origen local. La degeneración del flujo del río se explica por una deforestación continua de su cuenca. Las fábricas artesanales de ladrillos cercanos en el área de La Paz Centro y Nagarote trabajan con leña y tienen una demanda insaciable por este recurso de energía. La presión sobre la cobertura forestal de la región es enorme.

La deforestación de cuencas hidrográficas (misma observación para la subcuenca del río Mayales, (ANA-PROATAS GIZ, 2014) tiene un efecto fatal sobre los recursos de agua superficial. La capacidad de retención se reduce. Además la intercepción de la cobertura forestal con la atmosfera disminuye y la humedad relativa se reduce.

Para la Cuenca 64, el problema de deforestación afecta a los sistemas suelo y bosque por las extensas áreas de monocultivo como caña de azúcar y maní. Sin embargo el efecto de la deforestación sobre la recarga de agua subterránea es ambivalente y puede ser en algunos casos positivo, ya que una cobertura vegetal intacta aumenta la evapotranspiración, reduce la intensidad de la precipitación, estabiliza y aumenta la escorrentía superficial y transforma mucha agua en materia vegetal. De esta manera aumentan los recursos de agua superficial pero disminuye el volumen de agua disponible para ser transformado en agua subterránea.

- El caudal promedio del río Tamarindo para 1968/1969, el único año con registros completos, es de 3.22 m³/s.
- De la serie de mediciones 2000-2014 realizadas en el río Atoya el único año con mediciones mensuales completas fue 2007, registrándose un caudal de 3.99 m³/s.
- De acuerdo al régimen de pluviosidad, se pudieron estimar 3 porcentajes de escorrentía superficial del río Atoya para 3 años de diferente precipitación: año lluvioso (59%), medio (52%) y seco (25%).
- Al igual que en la subcuenca Mayales, el caudal de los ríos dependen del régimen de pluviosidad que en ocasiones pueden quedar temporalmente secos.

3.2.2 Estado actual cualitativo

Cabe señalar que ninguno de los ríos ubicados en la Cuenca 64 es utilizado para suministro de agua potable. Sin embargo, 2 de los 11 ríos (Chiquito y Acome) se encuentran contaminados por aguas residuales en la parte baja de su recorrido, cercano a las desembocaduras aguas abajo de las ciudades de León y Chinandega. En el capítulo 8 se describe detalladamente la situación de ambos cuerpos de agua. Aunque hay afluentes del río Chiquito que cuentan con agua de buena calidad.

El resto de ríos cuentan con una buena calidad de agua, tales como Izapa, Amalia - Sucio, El Tesorero, La Virgen, Quebrada Arenosa, Salinas Grande, Posoltega, Quezalaguaque (Telica), Viejo, La Llorona. Incluye además otros ríos de menor tamaño como Sasama, Las Lajas y Los Mangles. Se hizo una comparación de los valores obtenidos de los análisis químicos a cada uno de estos ríos con niveles mínimos de parámetros de calidad que establece la NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE: NORMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS (NTON 05007-98) publicada en la gaceta en febrero 2000. Esta norma tiene por objetivo "determinar la calidad de cuerpos de agua de acuerdo con los usos a los cuales se destinen".

Para los ríos El Tesorero, Posoltega, Las Lajas y Los Mangles se hizo visitas de campo en noviembre de 2016, donde se comprobó la presencia de bioindicadores (insectos que a través de su presencia indican una buena calidad de agua en los 4 ríos arriba mencionados). Estos insectos son considerados sólo habitables en aguas de corrientes bien oxigenadas y limpias.

Se hizo la comparación de la calidad de los ríos sólo con el tipo de agua 1 propuesto por la NTON 05007-98 que garantiza el uso industrial y doméstico para agua potable, esta clasificación es la más exigente respecto a los

valores establecidos y se asume que si calza en esta categoría también cabe en los otros tipos de agua recomendados para los otros usos.

3.2.2.1 Análisis físico químico

Se determinó la clasificación del carácter hidroquímico o tipo de agua, a través del contenido de los iones mayores, o macro elementos disueltos en el agua. Se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50 % de mili-equivalentes por 100; si ninguno supera el 50 % se nombran los dos más abundantes. Una de las formas más comunes de representar el carácter hidroquímico es a partir de los diagramas de Piper.

3.2.2.1.1 Carácter hidroquímico del agua superficial

Los datos utilizados para los análisis de la caracterización hidroquímica de las aguas superficiales corresponden a los tomados durante diciembre del 2015 a enero 2016. Un total de 42 muestras fueron analizadas (**Anexo 1**).

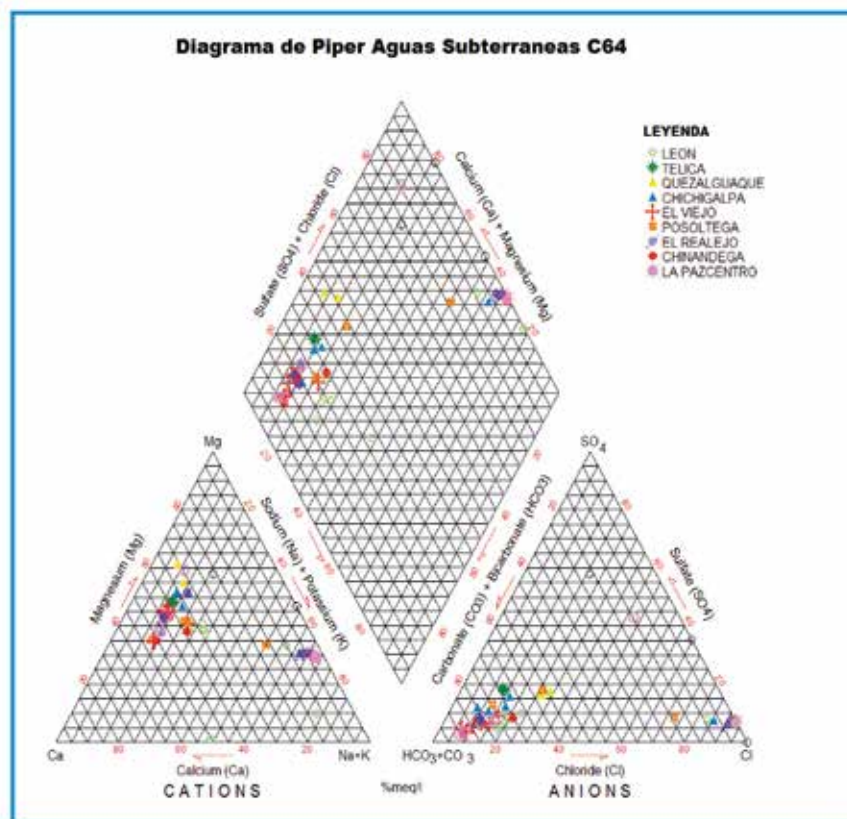
En base a los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos se obtuvieron los tipos hidroquímicos de las aguas superficiales en la Cuenca 64, a partir de los diagramas de piper (**figura 21**).

El tipo de agua que predomina en la cuenca 64, son aguas del tipo Bicarbonatadas-Cálcicas-Magnésicas (HCO_3 - Ca - Mg).

El resultado de los análisis de los parámetros de aniones y cationes de los ríos, con relación a la norma técnica 05007-98, resalta a los siguientes parámetros: la relación de nitratos y nitritos menor a 10 mg/l y manganeso con 0.5 mg/l. Para los primeros se obtuvo valores mayores al nivel mínimo establecido en varios sitios donde se realizó muestreo químico para los 3 diferentes años (2014, 2015 y 2016). En 2014, los valores más altos se encontraron en los ríos: Ojoche, Quezalguaque, Acome y Posoltega. También se encontraron en Salinas Grandes, estero Madera Negra, estero Tamarindo, estero Aserradores, confluencia entre estero Real Garitas y Salinas Grandes. Estos últimos lugares obtuvieron valores altos por tener aguas de origen costero marino (**ver anexo 1.3**).

Para el parámetro de manganeso no se estableció ninguna comparación con la NTON 05007-98, ya que no se realizó este análisis en los ríos de la cuenca.

Figura 21. Diagrama de Piper de las aguas superficiales Cuenca 64.



3.2.2.1.2 Parámetros físico químicos

Los parámetros físico químico de las aguas superficiales de la Cuenca 64 no fueron comparados con tablas de valores normativos de agua potable; a como se mencionó en el acápite 3.2.2 ninguno de los ríos ubicados en la cuenca son usados para este fin.

Cabe mencionar que se seleccionaron algunos sitios cercanos a la costa para determinar la calidad de los esteros como recurso hídrico importante de la Cuenca 64, no solo desde el punto de su potabilidad sino más bien del grado de contaminación por heces fecales y otros residuos a partir de vertidos líquidos.

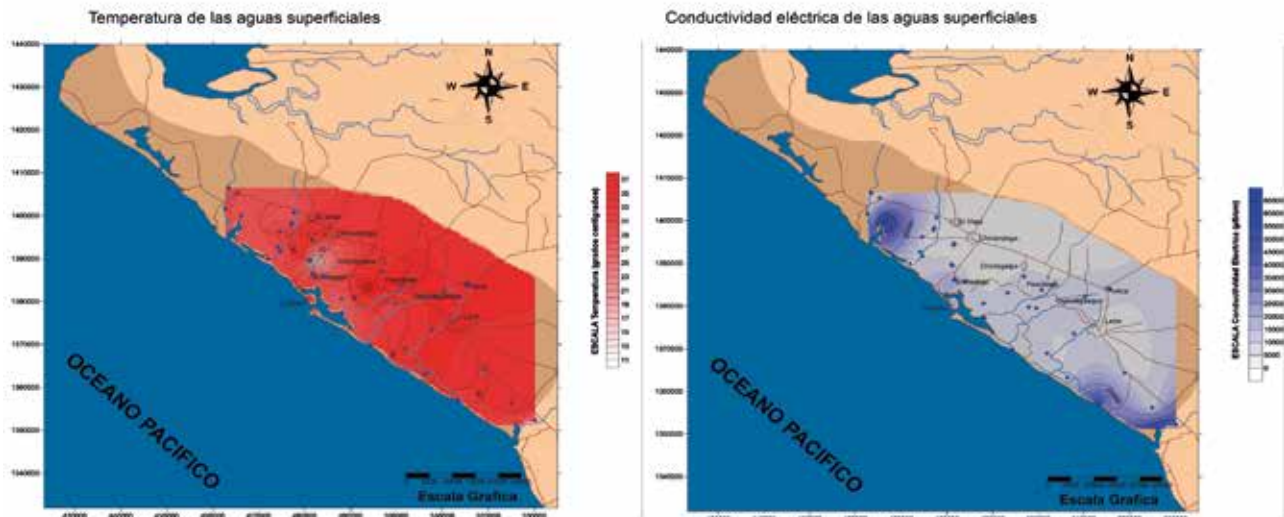
La temperatura de las aguas superficiales de la cuenca tiene un rango entre 24 y 36.8 grados centígrados.

El punto con menor temperatura se encontró en río Viejo, El Viejo y la temperatura más alta en río Sucio, Chichigalpa. En general los valores de temperatura en el agua superficial andan en el rango entre los 29-30°C y se encuentran dentro del rango establecido por la norma CAPRE (18 a 30 °C).

Los rangos obtenidos en las conductividades eléctricas para las muestras de aguas superficiales variaron desde 285 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tomado en el río Grande de Las Leonas, municipio de León, hasta un máximo de 67,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muestra obtenida en el estero de Aserradores, El Pedregal en el municipio de El Viejo. De 43 muestras realizadas para aguas superficiales, 27 están del rango de los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por lo cual estos 27 puntos estarían en un rango considerable para un uso futuro de agua potable según la norma CAPRE. Todos estos ríos están ubicados en la parte media de la cuenca. Cinco muestras resultan en rangos un poco mayor, de 600 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El restante de sitios (10) tienen picos de alta conductividad en las zonas de descarga de las aguas superficiales, mayoría son esteros y desembocaduras, como son: el estero Aserradores y en la desembocadura del río Tamarindo (figura 22).

Cabe mencionar que las figuras (22 al 24) a continuación representadas en mapas utilizan un método de interpolación que distribuye espacialmente una serie de valores en función de los puntos de muestreo más cercano. La visualización por degradación de colores de acuerdo a un rango es producto de la interpolación y no significa que haya efectos a nivel general de la cuenca como termalismo o zonas térmicas.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura y la conductividad eléctrica en las aguas superficiales

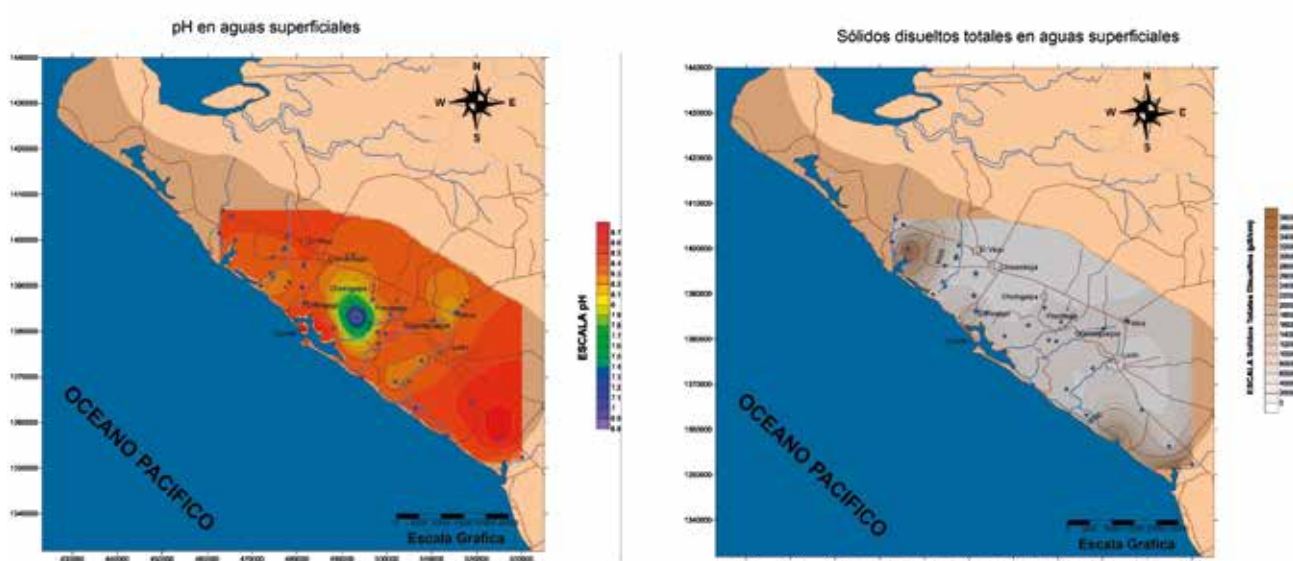


Los niveles de acidez de las aguas superficiales variaron desde los 4.65, en el río Sucio municipio de Chichigalpa, hasta los 8.56 en el río Los Arcos, municipio de León, con un promedio para las 42 muestras tomadas de 7.84. Según la NTON 05007-98, el pH de los ríos de la Cuenca 64 cumplen con el tipo 1 (uso industrial y doméstico para agua potable) y sus dos categorías 1A y 1B deben tener un rango mínimo de 6 y máximo de 8.5, sólo el río Sucio cuenta con un valor por debajo del permitido equivalente a un agua muy ácida.

Sin embargo este resultado sólo corresponde a un análisis puntual realizado en el río, con el que no se puede establecer la causa definitiva, podría

deberse a que en el sector cercano existe una laguna de aguas mieles de la caña de azúcar derivadas del proceso de la elaboración del azúcar y existe la posibilidad de que se derramen estas aguas mieles en dirección al río. Los sólidos disueltos totales en las aguas superficiales variaron desde un mínimo de 211.74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río Grande de las Leonas, municipio de León, hasta los 38,506.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el estero de Aserradores, El Pedregal, municipio de El Viejo. Los valores de los SDT para las muestras de agua superficiales andan por lo general por debajo de los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con los valores más altos sitiados en las zonas de descarga de los ríos (figura 23).

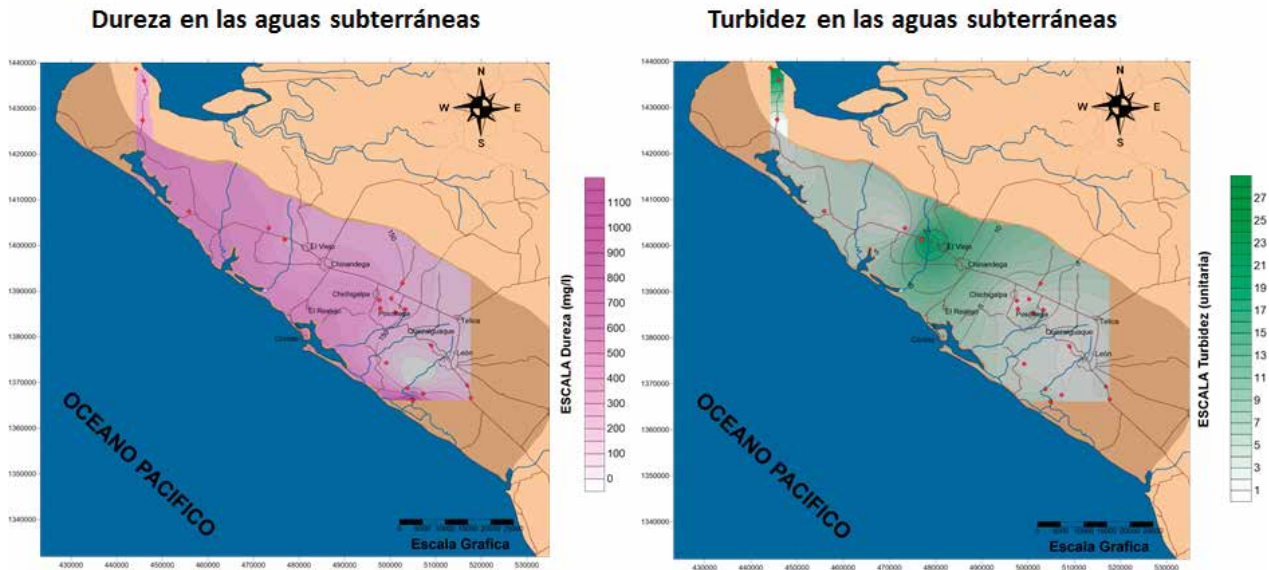
Figura 23. Comportamiento de pH y sólidos disueltos totales de las aguas superficiales de la Cuenca 64.



Las muestras de agua superficial que mostraron menor dureza se localizaron en el municipio de León, en el río Grande de Las Leonas con un valor de 97 mg/l y las muestras que obtuvieron mayores valores de dureza se localizaron en el estero de Aserradores, El Pedregal, municipio de El Viejo (figura 24). Los valores de turbidez para las aguas superficiales variaron desde los 0.7 en el río Tesorero, comarca de Mono Chingo, hasta los 450 en el río Sucio, municipio de Chichigalpa. La mayoría de los ríos muestreados dieron valores menores a 15.

Respecto a los dos parámetros nombrados en el párrafo de arriba, la NTON 05007-98 sólo considera la turbidez para revisión con un mínimo de 5 a 250 UNT, en donde el río Sucio vuelve a aparecer con los valores más altos, de nuevo asociado con la posibilidad de derrame en el río de las aguas mieles acopiadas en una laguna propiedad del ingenio.

Figura 24. Comportamiento de la dureza y turbidez de las aguas superficiales.



Las muestras de agua superficiales con menor alcalinidad corresponden a las tomadas en el río Grande de Las Leonas en el municipio de León con un valor de 125 mg/l y las de mayor alcalinidad corresponden a la obtenidas en el río Amalia, municipio de Chichigalpa con un valor de 290 mg/l. El valor promedio de la alcalinidad en las aguas superficiales es de 191 mg/l.

3.2.2.1.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Durante el mes de diciembre del 2015 a enero del 2016, se seleccionaron un total de 10 puntos de muestreo de aguas superficiales. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una de las pruebas más importantes para medir los efectos contaminantes de un agua residual, pero también es un parámetro de importancia en aguas potables. La DBO es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Por materia biodegradable se entiende o se interpreta como la materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos y que proporciona energía como resultado de su oxidación.

Los valores obtenidos para la demanda de oxígeno en las aguas superficiales muestran que los puntos con valores más bajos corresponden al río Posoltega (**tabla 15**). En El Trianon, municipio de Posoltega, con valores de 1.39 mg/l, y los valores más altos corresponden al río El Realejo, en el municipio de El Realejo con valores 27.52 mg/l, el valor promedio de las muestras es de 1.39 mg/l.

Cabe señalar que el río Sucio ha registrado en estudios previos valores altos de DBO asociado a la producción de caña de azúcar, sin embargo en

este estudio no se pudo consolidar este dato de contaminación; ya que se realizaron análisis de DBO y no hay valores absolutos de este parámetro, en algunas ocasiones resultaron por encima de norma y otros por debajo.

Tabla 15. Resultados de los análisis de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno de las aguas superficiales de la Cuenca 64.

ID Lab	Comunidad	Municipio	Fecha	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
AR-1258	río Las Chilcas, Tom Valle	El Viejo	dic-2015	3.09	<10
AR-1259	afluente Atoya	El Viejo	dic-2015	3.12	<10
AR-1260	río El Realejo	El Realejo	dic-2015	3.96	15.82
AR-1241	río Acome, Comarca El Raizal	Chinandega	dic-2015	14.68	39.56
AR-1242	río Posoltega, El Triánón	Posoltega	dic-2015	1.39	<10
AR-1240	Inicio río Atoya, Comarca Ceilán	Chinandega	enero-2016	1.87	35.6
AR-0034	río Tamarindo	La Paz Centro	enero-2016	6.22	48.17
AR-098	río Las Chilcas, Tom Valle	El Viejo	enero-2016	2.68	12
AR-100	afluente Atoya, German Pomares	El Viejo	enero-2016	5.48	12
AR-102	río El Realejo	El Realejo	enero-2016	27.52	90.97

3.2.2.2 Análisis bacteriológicos

Los análisis bacteriológicos son los parámetros más importantes cuando se refiere a las características del agua y su potabilidad. Las aguas pueden ser vehículos conductores de enfermedades como: cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, etc.

Para evaluar la calidad bacteriológica del agua se determina la ausencia o presencia de organismos coliformes. Los organismos patógenos causantes de enfermedades están dentro del grupo de los coliformes (coliformes totales), por ello la presencia de coliformes dentro de una muestra de agua no necesariamente indica la presencia de organismos causantes de enfermedades, sin embargo, para considerar un agua segura para el consumo humano, esta debe de estar libre de organismos coliformes.

Se realizaron análisis a las muestras para coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* en 42 puntos de muestreo en los ríos de la cuenca 64 para tres años consecutivos (15 sitios en 2014, 14 en 2015 y 13 en 2016) (**ver mapa 13-16 y anexo 3**).

Los resultados obtenidos para el análisis bacteriológico en las aguas superficiales muestran para los 3 años de muestreo altos valores de contaminación con una escala equivalente a altamente contaminado. En 2014, el punto con los valores más altos de coliformes totales corresponde al río Ojoche en el municipio de León con valores mayores a $1.60E+05$ (NMP/100ml), 2 sitios en el río Carbonero ($9.20E+05$ NMP/100ml) y río Sucio ($4.60E+05$ NMP/100ml) afluentes de río Los Arcos en el municipio de Chichigalpa.

En 2015, el sitio con valor más alto ($1.60E+06$ NMP/100 ml) fue encontrado en el río Acome y el segundo más alto en río Atoya, San Jerónimo con $3.10E+04$ NMP/100 ml.



Foto 10. Río San Isidro, puente en El Realejo.

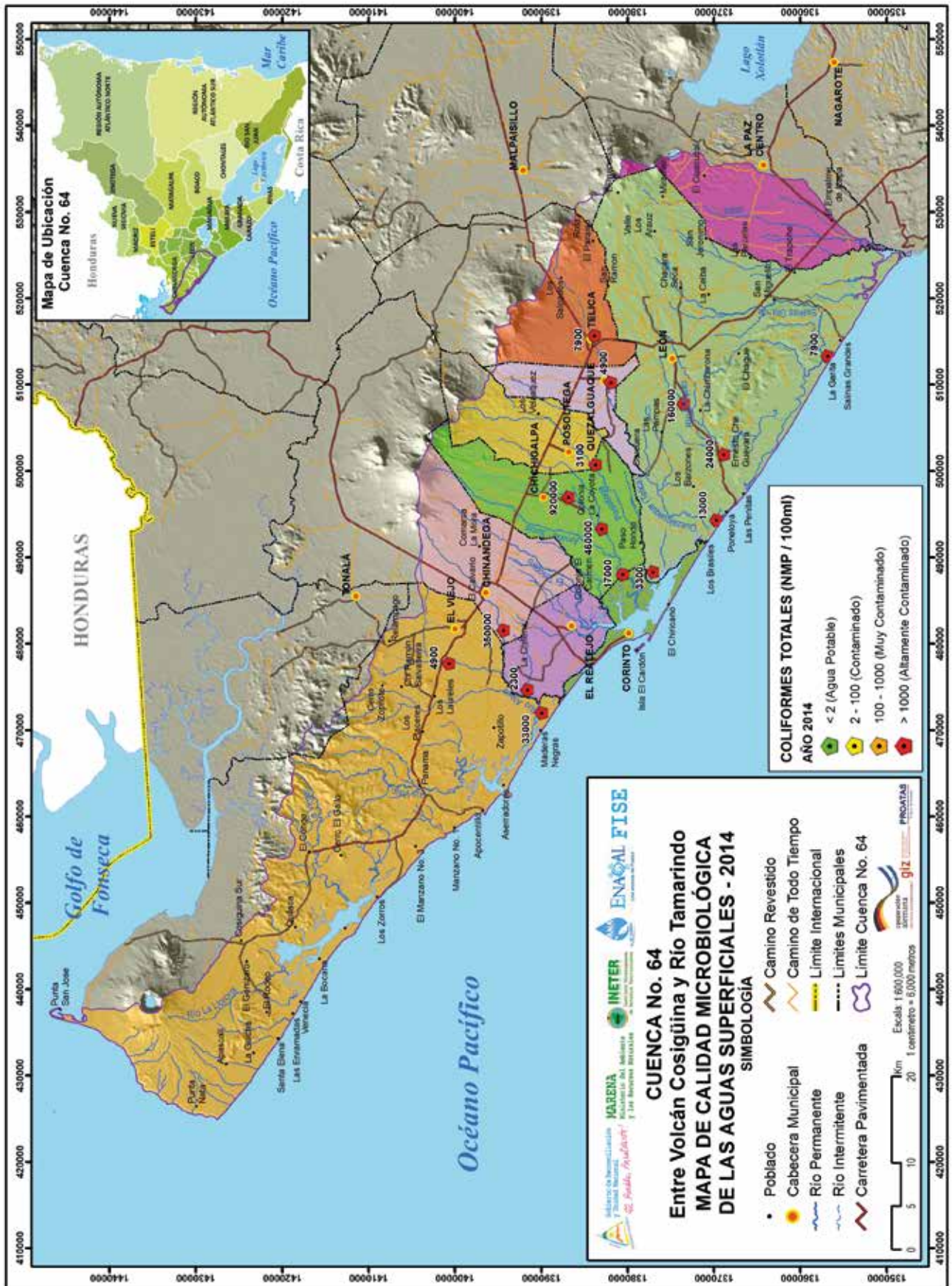
En 2014, los resultados para la bacteria *Escherichia coli* muestran que el punto de mayor contaminación corresponde al punto MB-2219 localizado en el río Acome en la comunidad de El Raizal con un valor de $9.20E+05$ unidades. Los valores más altos para los 3 años se dieron en 2014. Para 2016 los puntos son en río San Isidro, El Realejo y aguas abajo del río Realejo. Las causas de contaminación pueden deberse siempre a contagio de los ríos por heces fecales por defecación humana y/o animal y su diferencia de valores

puede deberse a los períodos de muestreo, siempre se esperan valores mayores en la época seca donde existe mayor estancamiento de agua (**foto 10**).

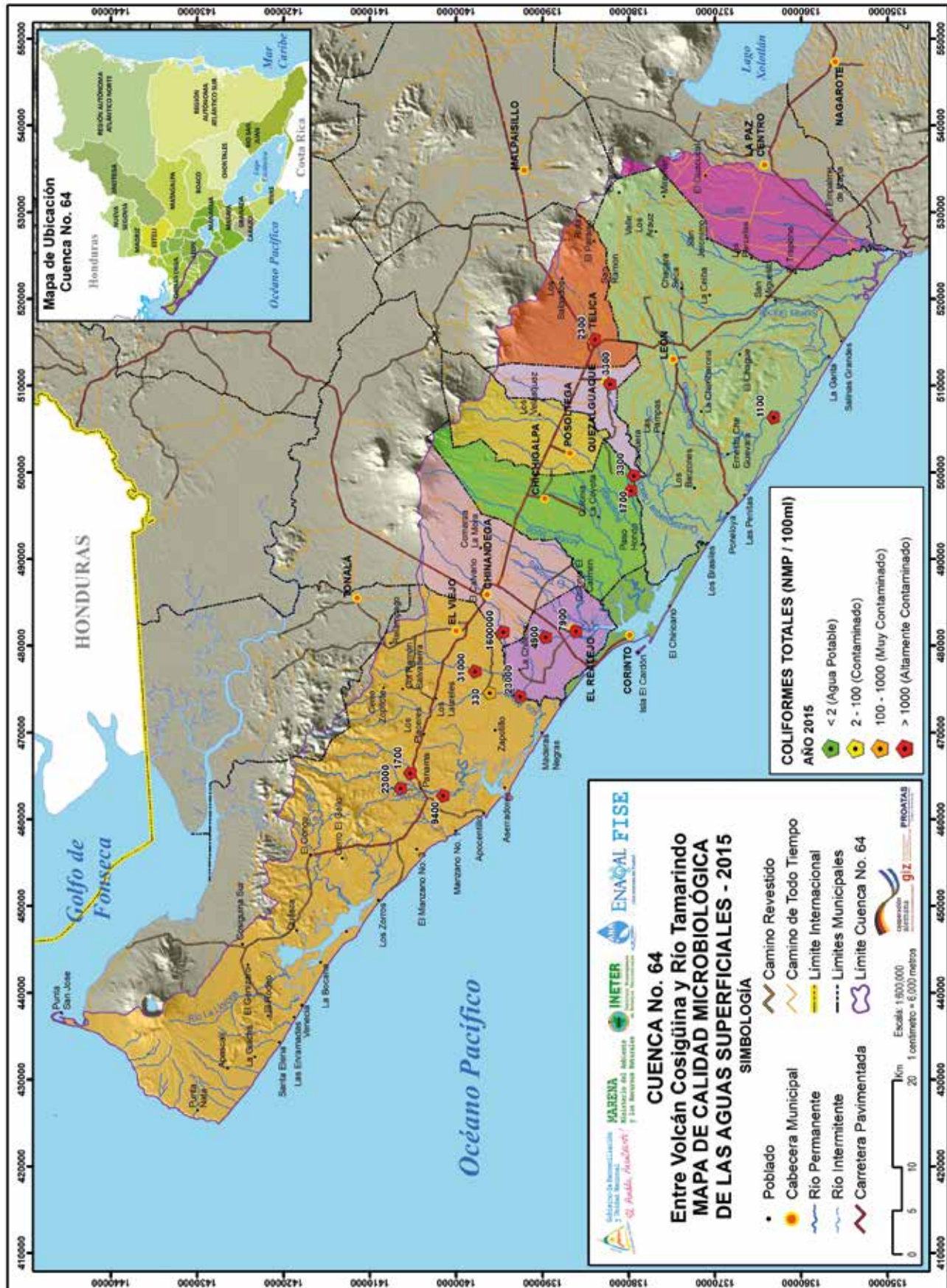
La NTON 05007-98 para el tipo 1 (uso industrial y agropecuario para agua potable) recomienda el parámetro de coliformes totales menores a 2000 NMP /100ml como promedio mensual. En estos casos, ninguno de los resultados cumple con los valores mínimos de coliformes de la NTON 05007-98 para aguas de la categoría tipo 1 y tipo 2 (uso agropecuario). Estas aguas podrían cumplir con la categoría arriba mencionada con medidas sencillas de cloración o evitar la defecación al aire libre.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Mapa 13. Calidad microbiológica de las aguas superficiales de la Cuenca 64 (año 2014)

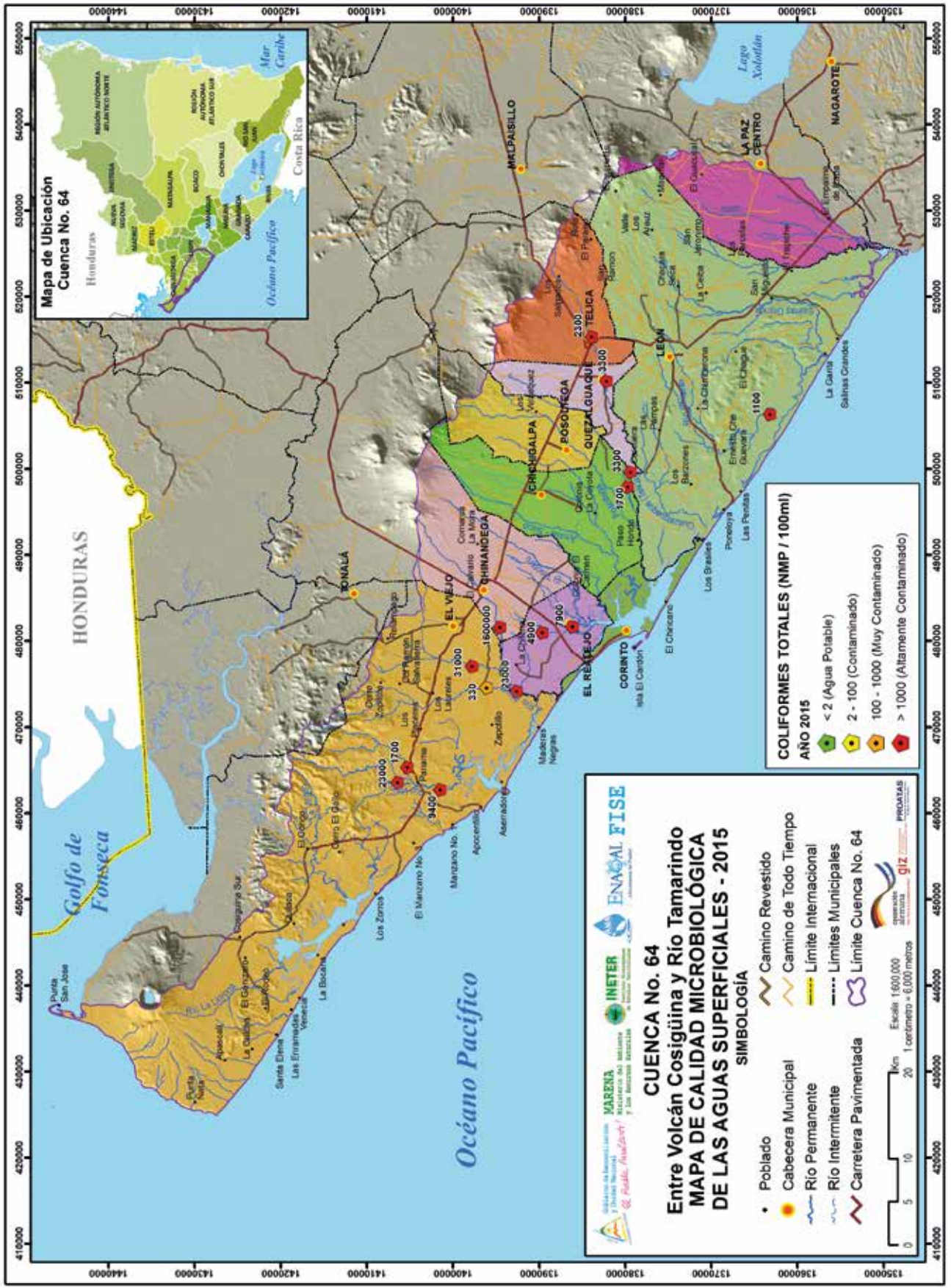


Mapa 14. Calidad microbiológica de las aguas superficiales de la Cuenca 64 (año 2015)



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Mapa 15. Calidad microbiológica de las aguas superficiales de la Cuenca 64 (año 2016)



3.2.2.3 Análisis orgánicos: plaguicidas organoclorados, plaguicidas organofosforados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y bifenilos policlorados

Se seleccionaron cinco puntos en aguas superficiales: río Carbonera y río Sucio jurisdicción Chichigalpa, afluente San Agustín de río Posoltega y el río principal Posoltega. Estos sitios fueron seleccionados de acuerdo a su localización cercana a los ingenios en Posoltega y Chichigalpa, tomando en cuenta además algunos análisis realizados en estudios anteriores con contaminación demostrada. Cabe señalar que la cantidad de sitios analizados estuvo limitada por razones presupuestarias.

En estos sitios se realizaron análisis de pesticidas organoclorados y organofosforados, hidrocarburos aromáticos bifenilos-policlorados durante 2014 y 2015 (tabla 16).

Tabla 16. Resultados de los análisis orgánicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64

ID-Lab	Lugar	X	Y	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ng/l) HAP's	Plaguicidas Clorados (ng/l)	Plaguicidas fosforados (ng/l)	Bifenilos Policlorados (pg/l) PCB
CO-462	río Carbonera	496945	1386932	ND	ND	ND	ND
CO-463	río Sucio	493313	1383077	ND	ND	ND	ND
CO-465	río Posoltega, El Trianon	500721	1383812	ND	ND	ND	ND
CO-479	afluente San Agustín (Mita-pán), río Posoltega	499623	1379505	ND	ND	ND	ND
CO-480	río Posoltega, El Trianon	497905	1379775	ND	ND	ND	ND

3.2.2.4 Análisis inorgánicos: metales pesados

No se realizaron muestreos de metales pesados, ya que se tenía información preliminar del tipo de actividad económica en la cuenca donde se confirmó que no se da ningún tipo de actividad minera. Sin embargo es sabido que el río Chiquito tiene sitios de contaminación por cromo como producto de los procesos industriales de las tenerías, CIRA (2016) obtuvo resultados con altos valores de cromo para el sitio El Fortín.

- Los problemas de calidad se concentran en las aguas superficiales, provocados principalmente por contaminaciones bacteriológicas, con una escala equivalente a altamente contaminado.
- Al igual que en las cuencas de Mayales y entre río Brito y Sapoá, los ríos como principal fuente superficial no tienen la calidad deseada y requieren de algún tratamiento para poder ser consumidas como agua potable.
- Existen sitios con valores de alta turbidez y conductividad eléctrica especialmente en los esteros: Aserradores, Real Garitas y Salinas Grandes.
- Las fuentes principales de contaminación de las aguas superficiales son aguas residuales de los cascos urbanos y de las comunidades rurales. Las aguas residuales al río Atoya y río Chiquito son las más críticas de toda la cuenca.

3.2.3 Monitoreo de las aguas superficiales

El monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca sólo se ha realizado de manera esporádica. Existen pocos estudios de calidad de agua superficial en años puntuales. La mayor parte de investigaciones de calidad están enfocadas al estudio del acuífero. Igual que en las otras dos cuencas donde ha intervenido PROATAS (subcuenca Mayales y cuenca 72) no existen datos para comparar con la línea base de la calidad de los diagnósticos de los recursos hídricos. Destaca el estudio que realizó el CIRA en conjunto con ECODES en donde se estableció una serie de mediciones de análisis químicos en el río Chiquito. En aras de empezar a construir una rutina de monitoreo de la calidad de los ríos, PROATAS en conjunto con INETER y las alcaldías de la Cuenca 64, estableció convenios de monitoreo continuo de la calidad de los ríos en 31 sitios.

Respecto a las mediciones de la cantidad de los ríos la situación es mejor en relación a la calidad. Como se explicó en la sección 3.2.1 de los 11 ríos ubicados en la cuenca, sólo se tienen registros de caudales con períodos cortos de medición, el río Atoya con una estación que funcionó entre y el río Tamarindo. Durante el levantamiento de la línea base de los recursos hídricos de este diagnóstico se realizó mediciones a 6 ríos que contaban con las condiciones necesarias para realizar aforos. También con INETER se emplazaron 9 estaciones, en los siguientes ríos (**tabla 17**) (**fotos 11 a 13**):

Tabla 17. Estaciones limnimétricas instaladas por INETER

ID	Río	Estación
1	Atoya	Pedro Pablo Martínez
2	Los Arcos	Puente El Trapiche
3	La Leona	En Puente
4	Telica	La Solana
5	Posoltega	El Trianon
6	Chiquito	La Gallina
7	San Gabriel	Patastule
8	Tamarindo	Las Limas
9	Santa Cruz	En Puente

Dentro de estas 9 estaciones hay tres ríos que durante la época seca son intervenidos por los ingenios: Atoya, Los Arcos y Santa Cruz.

Adicionalmente INETER realizará aforos en 5 sitios ya seleccionados cercanos a la desembocadura de los ríos El Tesorero, Posoltega, Los Mangles, Las Lajas y Telica durante la época seca para medir flujo base. Con este monitoreo se espera poder tener los datos de la curva de gastos de los primeros 9 sitios de la **tabla 17**, así como el valor de la recarga de agua subterránea con la medición complementaria de los 5 ríos.



Foto 11. Izquierda. Capacitación de técnicos municipales en aforos, río Posoltega julio 2016. **Foto 12.** Centro. Limnímetros ubicados por INETER en río Tamarindo, León. **Foto 13.** Derecha. Medición de caudales en río Posoltega, INETER noviembre 2016.

4 Agua Subterránea

4.1 Acuíferos y su potencial

En este capítulo se describe la unidad geológica principal que actúa como acuífero dentro del área de estudio "acuífero de Occidente" y otras unidades secundarias o dominios hidrogeológicos que pueden comportarse como acuíferos de menor escala (**mapa 16**).

La descripción de la geología, del modelo estructural del acuífero y de su funcionamiento hidráulico procede de MAGFOR / INETER (1999) y mediciones complementarias realizadas durante el 2016 en 678 pozos entre perforados y excavados. El nivel estático del agua y la composición química del agua es lo que más destaca de toda la información disponible, además se cuenta con los parámetros hidráulicos determinados por pruebas de bombeo.

4.1.1 Acuífero de Occidente

Dentro de la cuenca se encuentra la mayor parte del denominado acuífero de Occidente el cual ocupa aproximadamente el 80% de la extensión de la cuenca, hidráulicamente está aislado en los 4 puntos cardinales. La única excepción es el contacto directo entre el acuífero y el lago de Managua en la zona de La Paz Centro y Nagarote. Los límites al norte y al sur del acuífero están definidos por rocas volcánicas semi-impermeables. El límite NE corresponde a la cadena de los volcanes y esta al mismo tiempo actúa como la divisora nacional de las aguas entre los océanos Pacífico y Atlántico.

Estructuralmente los límites NE y SO del acuífero están marcados por sistemas de fallas que siguen la dirección de la costa. Las fallas son normales y han creado un graben asimétrico, cuya profundidad aumenta en dirección a la cadena de los volcanes (**ver figura 25**). En el centro del graben, entre Chinandega y León, se formó una auténtica fosa tectónica, cuya profundidad máxima excede los 250 m y cuyo centro se sitúa en Posoltega. Los límites NO y SE del acuífero son definidos por rocas basálticas impermeables.

Hídricamente no existe coincidencia entre la delimitación del área de la Cuenca 64 y del acuífero de Occidente, por lo que en este estudio no se presenta el área del acuífero dentro de la cuenca, ya que no existe un parte de agua ni superficial ni subterránea que permita dividir el acuífero. Por lo cual las cuantificaciones se realizaron con el área total del recurso subterráneo identificado.

El área del acuífero según el polígono delimitado en plataformas SIG actualmente para INETER es de **2172.1 km²**, pero anteriormente MAGFOR/INETER (1999) señaló un área de **2435.0 km²** neta, esta última es retomada en

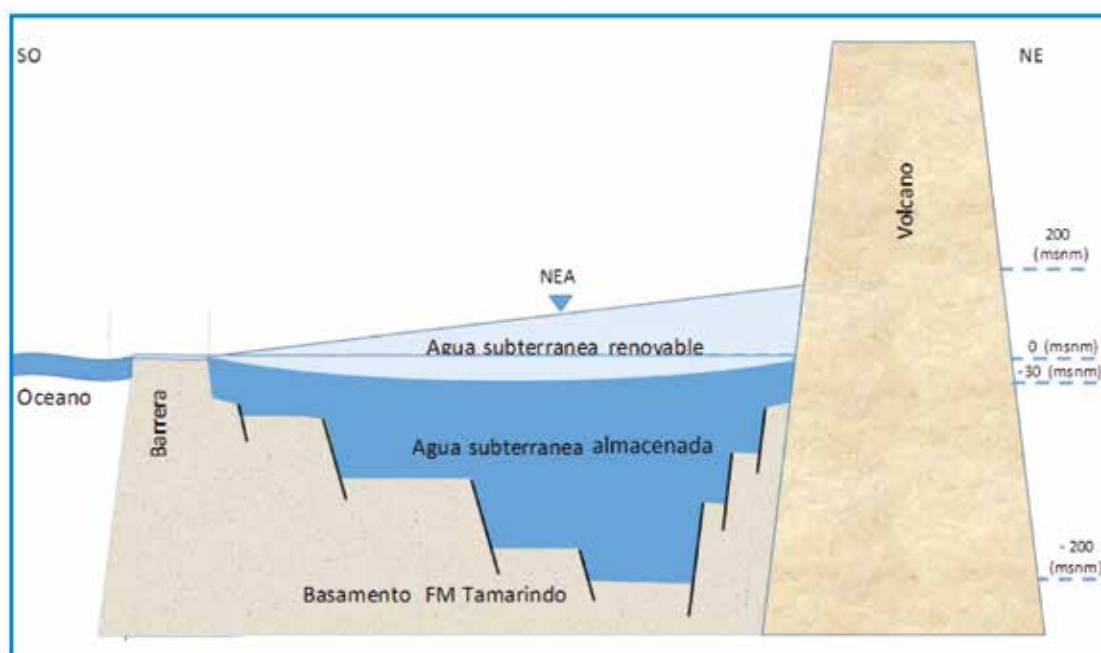
este diagnóstico para poder realizar posteriores comparaciones con los resultados como recarga anual y comportamiento de nivel de agua subterráneas, parámetros claves para poder realizar las estimaciones de balance hídrico.

El basamento del graben no ha sido alcanzado por ninguno de los numerosos pozos perforados, sólo se ha podido detectar a través de las altas resistividades eléctricas de los sondeos geofísicos. Se ha señalado que está formado por las mismas ignimbritas de la formación Tamarindo que afloran a lo largo de la costa. En el mapa del basamento se pueden observar diferentes sectores del graben: una plataforma del basamento con valores de -20 a -40 (m.s.n.m) al NO de Chinandega.

El centro del graben se ubica entre Chinandega y León. En este punto, el basamento desciende desde una cota de -10 (m.s.n.m) próximo a la costa (límite SO del acuífero) hacia una cota de -280 (m.s.n.m) próxima a la cadena de los volcanes. La cuesta SO de la cadena de los volcanes es bastante inclinada y al este de León y hasta la orilla del lago de Managua se carece de pozos para documentar bien la situación del basamento, pero se supone que se ubica todavía a profundidades mayores a -120 (m.s.n.m).

La estructura del graben donde limita con la barrera de la formación Tamarindo permite la diferenciación de dos tipos de agua, el agua renovable anualmente por las precipitación y el agua de reserva. Según los análisis químicos realizados a pozos de diferentes profundidades la interfase está localizada a 30 msnm (ver figura abajo y detalle de los tipos de agua en capítulo 4).

Figura 25. Modelo geológico e hidráulico simplificado del acuífero de Occidente



Los pozos perforados en el acuífero (profundidad máxima: 240 m, profundidad promedio: 60 m) muestran un "relleno" de sedimentos muy variados, en su mayoría de origen volcánico, predominan materiales depositados por flujo de caída (ceniza, pómez y escoria) y/o nube ardiente (materiales piro clásticas), mientras los flujos lávicos pasan en segundo plano. INETER/MAGFOR (1999) detalla con 10 perfiles litológicos longitudinales y verticales un conjunto de material volcánico heterogéneo, depositado en forma lenticular, donde se observa que el diámetro de las partículas de las muestras recolectadas en los pozos perforados, disminuyen desde el NE hacia el SO es decir con la distancia a la cadena de los volcanes. Esta observación demuestra que el relleno del graben provino de las erupciones volcánicas y se puede suponer que el nacimiento de la cadena de los volcanes y el hundimiento del graben, son dos fenómenos íntimamente ligados.

- El acuífero de occidente es la unidad acuífera más importante de la cuenca 64 y una de las principales de Nicaragua y se extiende hacia la parte sureste cortando los límites de esta unidad.
- El acuífero de Occidente está caracterizado por una interfase química con dos tipos de unidad acuíferas: agua renovable y agua de reserva.
- Debido a la constitución geológica tiene una alta capacidad de almacenamiento, sin embargo depende directamente de la cantidad de lluvia precipitada anualmente.
- El máximo aprovechamiento de esta unidad debe darse a través de pozos perforados por sus rangos altos de extracción.

4.1.2 Dominio hidrogeológico sedimentario

Está localizado en la parte noroeste de la cuenca con límite en la península de Cosigüina localizado en la parte costera coincidiendo en los depósitos sedimentarios que originan los manglares presentes en la cuenca. En este dominio predominan los acuíferos libres comprendidos por areniscas y conglomerados. Además constituye la parte aluvial de la desembocadura de ríos hacia esteros donde se encuentra en la mayoría de los casos la conexión hidráulica entre agua superficial y subterránea.

El nivel freático en este dominio se encuentra muy somero correspondiente con la cercanía al mar.

Los pozos perforados dentro de este dominio son pocos, la mayoría para abastecimiento rural de pocas familias con caudales aproximados de 10 a 30 gal/min. Los lugares más característicos para este dominio son Aserradores,

Maderas Negras, Los Zorros y La Bocana. También se encuentran pozos excavados en Corinto con caudales menores a los 5 gal/min para aprovechamiento privado de pequeñas casas. Este dominio no comprende grandes dimensiones y sus pequeños acuíferos son bien limitados, el agua que los determina puede provenir de la interfase agua dulce - agua marina característica de zonas costeras. Los pozos comprendidos en este dominio están ubicados directamente en las fronteras litorales del Pacífico.

- El dominio hidrogeológico sedimentario constituye la parte aluvial de la desembocadura de ríos hacia esteros donde se encuentra en la mayoría de los casos la conexión hidráulica entre agua superficial y subterránea.

4.1.3 Dominio hidrogeológico volcánico

Se encuentra en toda la península de Cosigüina en las comarcas de Santa Elena, Punta Ñata, Quilaca, Santa Elena, El Congo, Cerro Zopilote y Las Enramadas. Este dominio está constituido por depósitos piroclásticos entre tobas, flujos y cenizas. Es el segundo en extensión después del acuífero de Occidente. La permeabilidad es secundaria controlada por fallas, ejemplos demostrados de aprovechamiento de esta manera en las comunidades Paniquines, Quilaca y Punta Ñata.

El dominio tiene intercalaciones de rocas volcánicas que varían en grado de consolidación y granulometría, pudiendo tener diferentes valores de conductividad hidráulica.

Debido a su extensión, los niveles de agua subterránea varían mucho, la parte más alta donde los pozos ubicados en las laderas del volcán reportan profundidades de más de 100 m como el caso de la comunidad de Oro Verde. En la parte media, los niveles en las comunidades de Apascalí y Paniquines la profundidad varía de 30 a 38 m. En las comarcas cercanas a la costa como San Luis, Quilaca, Mechapa y El Rosario las profundidades son de 5 a 15 m siendo los más someros de todo el dominio.

- Este dominio abarca la mayor parte del municipio de El Viejo y es el segundo en extensión después del acuífero de Occidente.

4.1.4 Barrera hidráulica

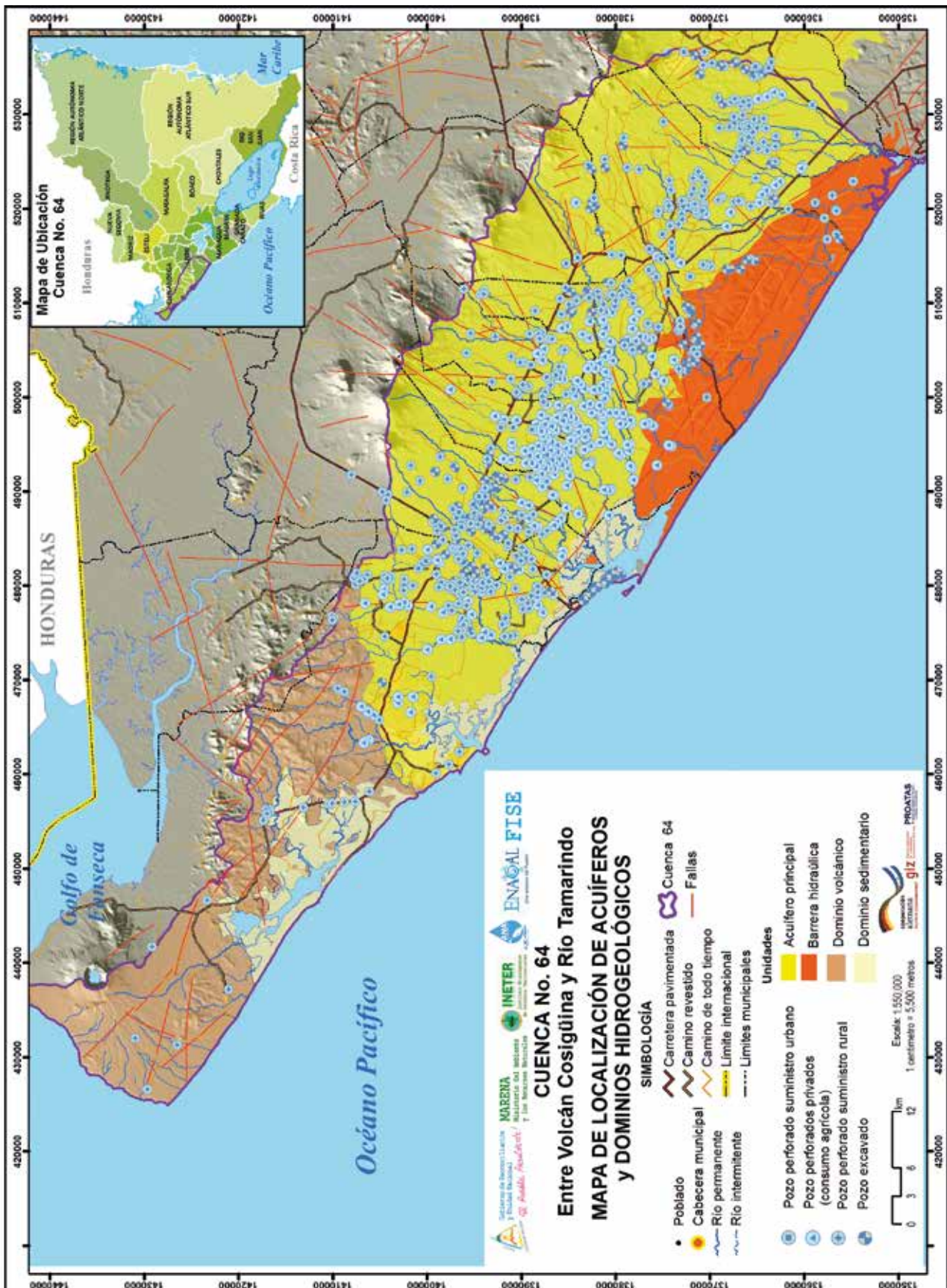
Esta área ha sido denominada en diferentes estudios como barrera hidráulica del acuífero de Occidente, siendo a su vez el límite SO. Está constituida por ignimbritas de la formación Tamarindo y actúa en efecto como barrera

ya que las rocas que la forman tiene una permeabilidad mucho menor que los depósitos Cuaternarios que conforman el acuífero principal del área de estudio, a su vez caracterizados por una permeabilidad muy alta (ver sección 4.1.1). Sin embargo, en la zona de la llamada barrera existen algunos pozos perforados para suministro rural con caudales máximos de 200 gal/min. Los rendimientos de estos pozos pueden estar asociados a fallas geológicas que favorecen la permeabilidad de estas rocas mayormente constituidos por depósitos de ignimbritas, como es el caso de San José de las Salinas, Los Brasiles y Los Barzones. En el mapa de dominios hidrogeológicos se puede observar claramente la ubicación de estos pozos en las zonas de fallas. En el resto de esta área las ignimbritas son casi impermeables y no permiten la circulación del flujo subterráneo hacia el mar.

El área se extiende a lo largo de toda la costa, afloran hasta Corinto, pero están presentes hacia el límite NO del acuífero. Corriols (2005), a través de una investigación geofísica reveló que al norte de Corinto las ignimbritas están cubiertas por una cobertura freática (10 - 20 m) de depósitos Cuaternarios.

- La barrera hidráulica actúa como barrera ya que las rocas que la forman tiene una permeabilidad mucho menor que los depósitos Cuaternarios que conforman el acuífero principal del área de estudio.

Mapa 16. Localización del acuífero de Occidente y dominios hidrogeológicos



4.1.5 Piezometría

El flujo a través de este acuífero es muy direccional, casi siempre dirigido desde el NE hacia el SO. Las isolineas freáticas fluyen paralelo a la cadena de los volcanes, indicando una fuerte infiltración que recibe el acuífero de este lado (**mapa 17**). Lo contrario ocurre en la depresión geológica que se localiza entre el volcán (El Chonco) y el Cerro Partido, en donde las isolineas freáticas se pierden de manera vertical al límite de la cuenca, indicando cero alimentación de este lado.

Los gradientes hidráulicos disminuyen en dirección al océano Pacífico a pesar de que el acuífero se acuña en la misma dirección (**ver figura 26**). Normalmente una disminución del gradiente hidráulico se traduce en un aumento de la transmisividad. El caso del acuífero del Occidente no es así, esta contradicción hidráulica se explica por el efecto del bloqueo producido al flujo de agua subterránea por la doble barrera que está comprendida a un lado por las ignimbritas impermeables que afloran a lo largo de la costa y al otro lado por el agua salada del océano. El bloqueo produce un efecto de retención de los flujos y hasta flujos verticales y es responsable de la disminución de los gradientes hidráulicos.

Mapa 17. Isolneas freáticas en la Cuenca 64 (MAGFOR/INETER 1999)

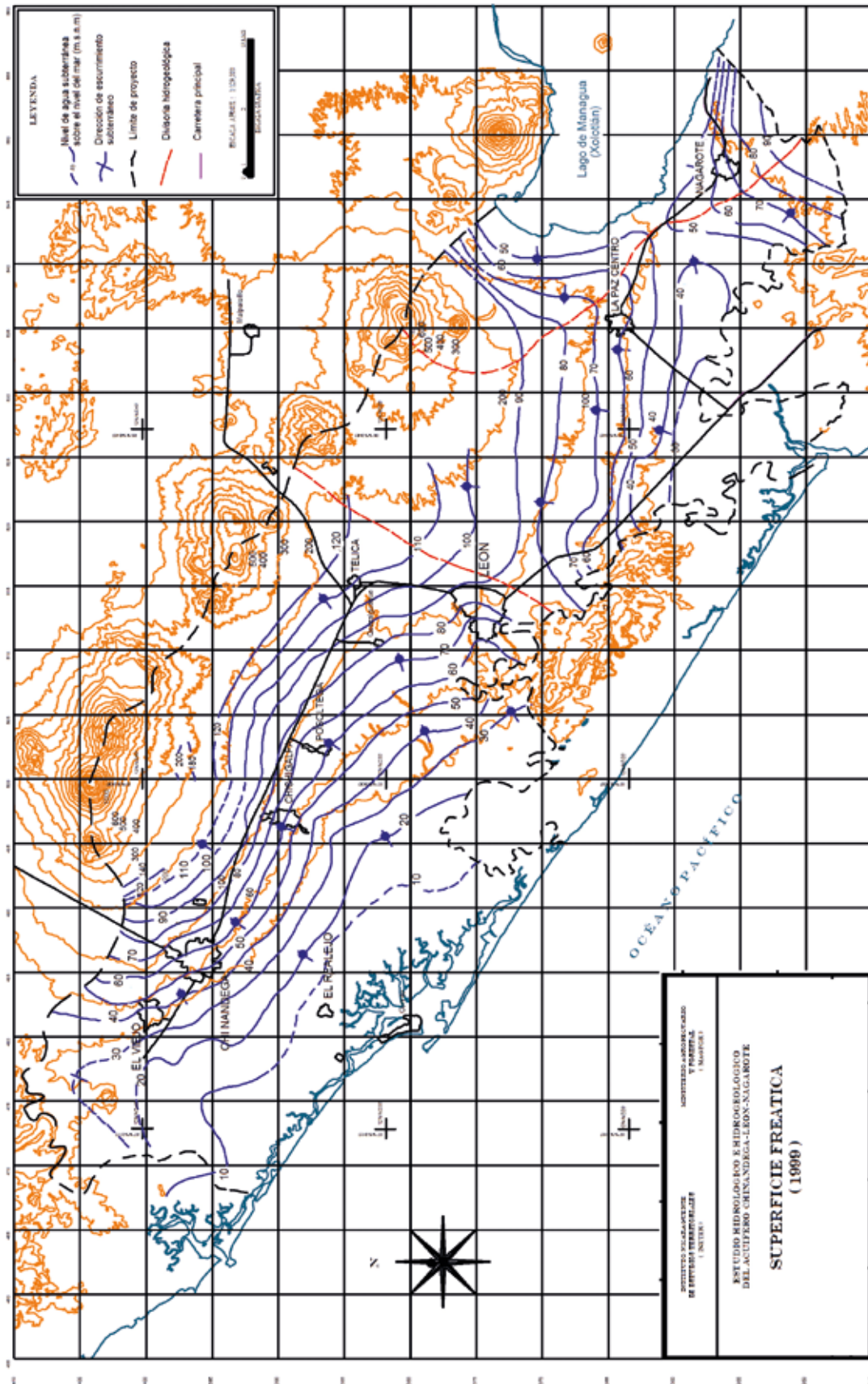
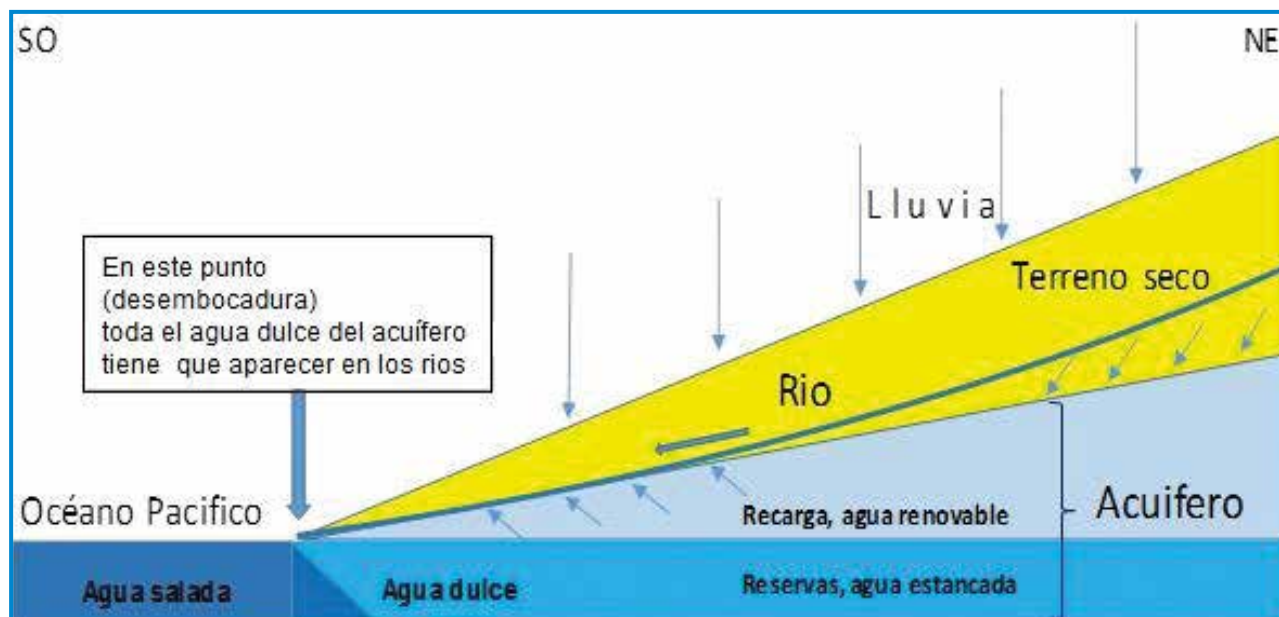


Figura 26. Modelo río - acuífero en la C64

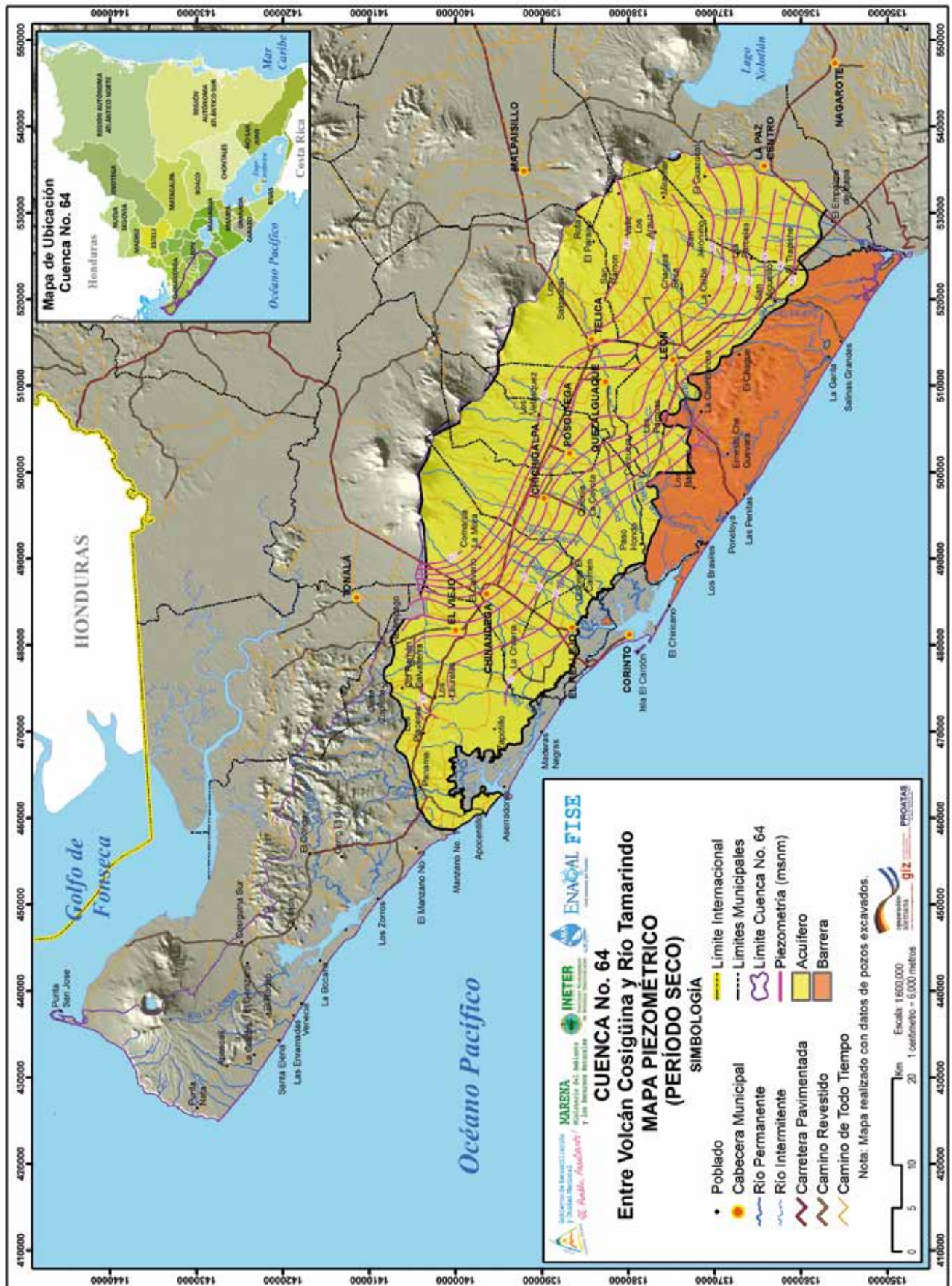


La red fluvial no se marca en la superficie freática, ni en la parte alta o media de los cauces ni tampoco en la zona con bajos gradientes, hasta una cota que se sitúa alrededor de 40 (m.s.n.m.) los ríos y el acuífero no están en contacto hidráulico. Más abajo de la cota 40 (m.s.n.m) los ríos interceptan el nivel del acuífero y éste alimenta a los ríos que funcionan como base de drenaje del sistema hidráulico. La zona de los bajos gradientes se traduce en la retención del flujo subterráneo por la doble barrera y solapa al efecto del contacto entre río y acuífero, provocando que no se observe en el mapa de piezometría.

En el marco de la elaboración del diagnóstico, INETER realizó una actualización del comportamiento de los niveles de agua subterránea para el año 2016. Se elaboraron dos mapas diferentes de acuerdo a las dos épocas climáticas presentes en la zona de estudio (época seca y lluviosa), además se utilizaron los valores de niveles de agua subterránea sólo de los pozos excavados pertenecientes a la red de vigilancia hidrogeológica de esta institución (**mapa 18 y 19**). El criterio de la selección de datos de los pozos excavados se debió a que la información al momento de analizarla muestra un comportamiento más acertado de las isoclinas al tener menos influencia por extracción de agua.

Si se comparan los mapas realizados por INETER en 1975 y los actuales (2016) se puede indicar que los valores de isoclinas se han mantenido en los dos diferentes periodos de medición. La zona de El Realejo todavía mantiene valores de niveles de agua subterránea alrededor de los 10 m.s.n.m. Estos valores también pueden verificarse en la poca variación de los niveles que refleja el acuífero mientras la extracción no exceda la recarga anual del mismo (vea capítulo 5).

Mapa 18. Piezometría en época seca del año 2016 (INETER, 2016)



También se pueden comprobar las características hidráulicas del acuífero: el gradiente hidráulico más pequeño en la parte alta de la cuenca representado por los contornos más agrupados en la cordillera volcánica. La dirección del flujo subterráneo sigue siendo evidente hacia el océano con clara conexión de los ríos y los acuíferos. En los **mapas 18 y 19**, esta conexión es bien evidente en la parte del río Atoya, demostrado mejor en la época lluviosa cuando la comunicación entre ambos sistemas es más frecuente. Además se puede visualizar en los ríos Quezalguaque, Tesorero y Amalia.

- Los gradientes hidráulicos disminuyen en dirección al océano Pacífico a pesar de que el acuífero se acuña en la misma dirección.
- El bloqueo producido por la barrera de las ignimbritas y las aguas saladas del mar tiene un efecto de retención de los flujos y hasta de los flujos verticales y es responsable de la disminución de los gradientes hidráulicos.
- Los mapas piezómetros demuestran claramente la recarga directa del acuífero por la precipitación estacional marcada en los valores de las isoclinas de agua subterránea.

4.1.6 Parámetros hidráulicos

La alta permeabilidad hidráulica medida en los pozos perforados se traduce en una compactación módica del material del acuífero en su parte superior.

Todos los parámetros hidrogeológicos presentados en la **tabla 18** abajo fueron determinados dentro del proyecto de INETER/MAGFOR en 1999 muestran un acuífero poderoso, mayormente no confinado, con una muy alta capacidad de almacenamiento y con alta conductividad hidráulica (m/s), acompañado de altas tasas de rendimiento específico ($m^3/h \times m$).

Cabe señalar que algunos de los valores tal como el coeficiente de almacenamiento (valores con color rojo en la tabla) determinado por las pruebas de bombeo sugiere que de un m^3 de material acuífero se puedan liberar 78 litros de agua. Al evaluar este valor, tomando en cuenta la extensión de $2,435 \text{ km}^2$ que tiene el acuífero, mediante un ejemplo de cálculo se demuestra que para un abatimiento en el acuífero de solamente 1 m, se obtendrían 189 MMC de agua ($2435 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 0.078 = 189 \times 10^6 \text{ m}^3$) quedando todavía el volumen de agua almacenado en los primeros 100 m del acuífero que sería 19000 MMC o 60 veces la recarga anual de 311 (MMC/A).

El sistema acuífero como el descrito arriba es capaz de amortiguar un déficit de alimentación durante un par de años sin poner en peligro la capacidad

de explotación. Sin embargo se sugiere que este valor pudo sobrestimarse por el alto valor que resulta en 19000 MMC/A para los primeros 100 m, no coincide con la recarga anual calculada para el acuífero (ver capítulo 6 para más detalle).

Tabla 18. Parámetros hidrogeológicos del acuífero de Occidente (INETER/MAGFOR, 1999)

INDICES HIDROGEOLOGICOS del ACUIFERO del OCCIDENTE

Superficie Cuenca	2946 (km ²)	Acuífero, Extensión NO – SE	~ 100 (km)
Superficie Acuífero	~2435 (km ²)	Acuífero, Extensión NE – SO	~ 20 (km)
Espesor min. / máx.	40 (m) / 250 (m)	Caudal promedio	208 (m ³ /h)
Numero de pozos perforados (PP), estado de 1999:	864	Abatimiento promedio en pozos perforados	12 (m)
Numero de pozos excavados (PE), estado de 1999:	>2355	Rendimiento específico medio en pozos perforados (PP)	17.3 (m ³ /h x metro)
Columna de agua media en pozos perforados (PP)	60 (m)	Transmisividad promedio de 26 pruebas de bombeo	908 (m ² /día)*
Extracción total (1999)	237 (MMC/A)	Conductividad hidráulica	15.1 (m/día)
Coefficiente promedio de almacenamiento	0.07	Volumen de agua almacenado en 1 m ³ de material de acuífero	70 litros = 0.070 m ³

La alta capacidad de almacenamiento es también un peligro para la evaluación somera del estado del acuífero, porque puede ocultar un posible efecto de sobre explotación durante un tiempo prolongado.

El problema de los pozos excavados es su falta de capacidad contra el abatimiento del nivel dinámico durante la estación seca o durante años con precipitación con déficit de lluvia. El problema es acentuado cuando en la vecindad de un pozo excavado se encuentran pozos perforados equipados de bombas motorizadas con una gran potencia de extracción de agua. En este caso el pozo excavado es interferido por el pozo perforado y puede secarse aún más rápido.

4.2 Estado actual cuantitativo y cualitativo

4.2.1 Estado actual cuantitativo

4.2.1.1 Inventario de pozos

La información previa de la cantidad de pozos ha sido detallada en INETER/MAGFOR (1999), donde se realizó un inventario total de 1,144 pozos localizados en todo el acuífero de Occidente, de esa cantidad sólo 517 se encuentran dentro de la cuenca. En el inventario realizado en esa época se incluyeron pozos privados usados para riego, para abastecimiento rural y urbano, y pozos excavados.

En mayo 2016 se llevó a cabo el levantamiento de todos los pozos existentes. Se realizó a través de 6 giras de campo donde se lograron medir 678 pozos entre perforados y excavados. Cabe mencionar que la actualización del inventario de pozos se tomó como base de análisis los datos del estudio de INETER/MAGFOR (1999), además de información adicional de otras instituciones tales como: FISE, ANA, ENACAL.

Cada una de estas instituciones alberga datos relacionados a diferentes pozos, ENACAL tiene la base de datos de sus pozos para abastecimiento de agua potable en zonas urbanas y de todos los pozos perforados con sistema de bombeo eléctrico de algunas zonas rurales, ANA por su parte tiene la base de datos de los pozos privados a los cuales se les ha otorgado concesión por derecho de uso de agua y FISE cuenta con una base SIASAR⁶ en la cual contiene todos los pozos de las zonas rurales. Durante las giras se realizaron mediciones de niveles de agua subterránea, parámetros físico-químicos y extracción estimada (donde las condiciones lo permitieron) (**fotos 14 y 15**).



Foto 14. Izquierda. Medición del nivel de agua subterránea de pozo ENACAL. **Foto 15.** Derecha. Medición del nivel de agua subterránea de pozo comunitario del municipio de León.

⁶. Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural

La cantidad exacta de pozos localizados en la cuenca 64 todavía es imprecisa, ya que existen pozos perforados que no están legalizados ante ANA. Además de pozos excavados y perforados privados que están dentro de propiedades privadas y el acceso a estos es muy difícil (**fotos 16 y 17**).



Foto 16. Izquierda. Medición del nivel de agua subterránea de pozo explotado por finca bananera en El Viejo. **Foto 17.** Derecha. Medición de nivel de agua subterránea de pozo utilizado para abastecimiento comunitario en El Viejo.

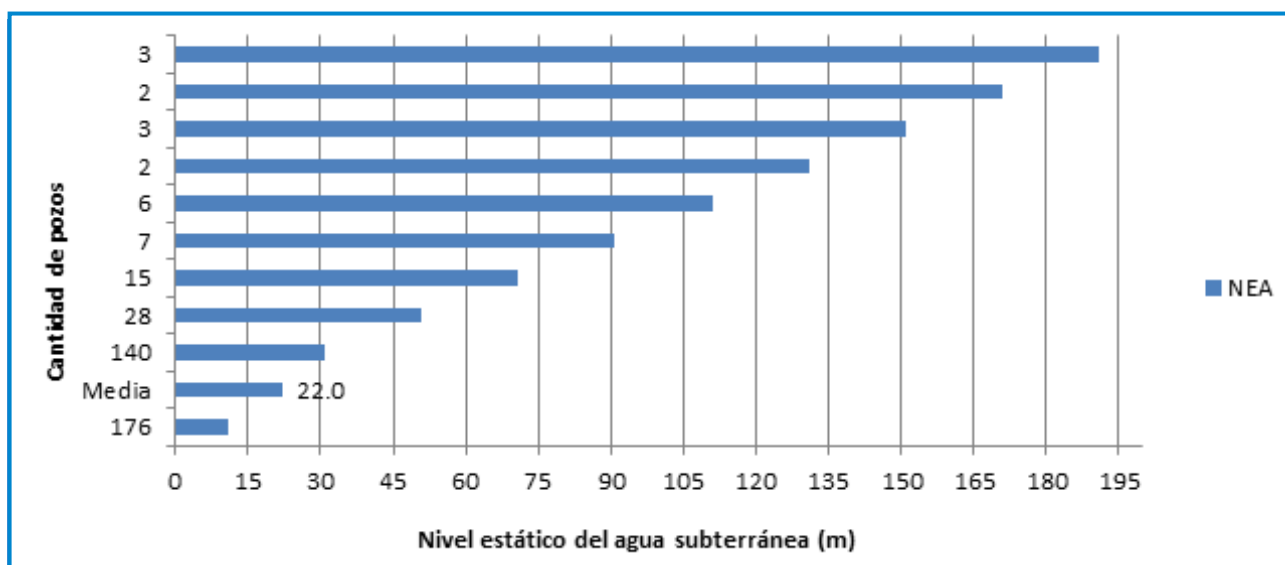
En el diagnóstico se revisaron los datos provistos por cada una de las instituciones, que a su vez contaran primeramente con coordenadas geográficas para integrar en un mapa y poder filtrar información que pudiera estar repetida al ser levantada por más de una institución (mapa 16). Así, se logró obtener una cantidad estimada de los pozos excavados y perforados localizados en la cuenca 64 (**tabla 19**).

Tabla 19 Inventario de pozos dentro de la cuenca 64

Tipo de pozos	Cantidad
Perforados	1,363
Excavados	365
Total	1,728

La mayoría de los pozos medidos durante la campaña de mayo 2016 registran un nivel de agua somero con una media de 22 m (**figura 27**). Del total de la muestra utilizada de 382 pozos, 176 tienen valores de profundidad de agua por debajo de 11 m y 140 sitios con niveles hasta 30.9 m.

Figura. 27 Distribución del nivel freático de 382 pozos



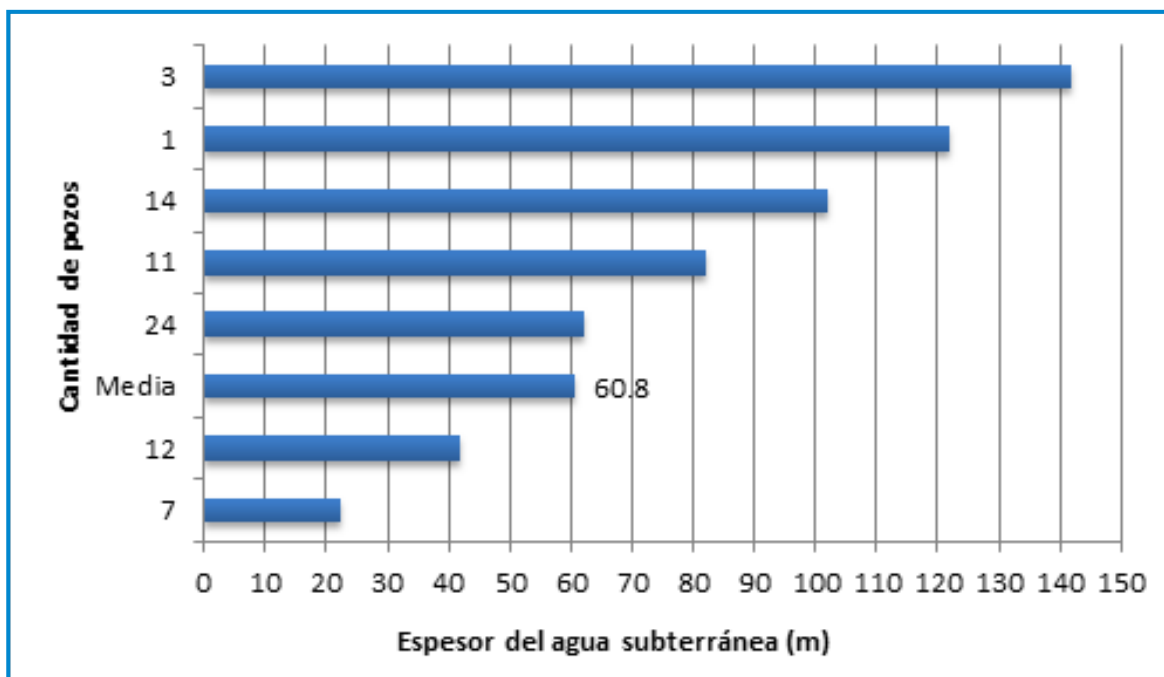
4.2.1.2 Espesor del agua

El análisis del espesor del agua subterránea en el acuífero de Occidente se llevó a cabo con una muestra de 72 pozos. Estos pozos eran los únicos que tenían información disponible de profundidad total del pozo y el nivel del agua subterránea. La mayoría son pozos de ENACAL y los datos provenían de los registros de diseño y perforación.

Así, el valor promedio de la columna de agua de los pozos analizados es de 61 m. El alto valor del espesor se debe a que todos los pozos son perforados, lo que permite llegar a una mayor profundidad. Por otro lado no existen datos de profundidad de agua en pozos excavados para poder determinar el espesor de estos. Se tiene información de que el espesor puede ser mayor en muchos sitios donde existen pozos perforados privados pertenecientes a los ingenios donde el espesor puede alcanzar más de 100m.

En la gráfica de abajo se muestra la distribución del espesor del agua subterránea, donde la mayoría de los pozos tienen entre 50 a 100m de columna de agua (**figura 28**).

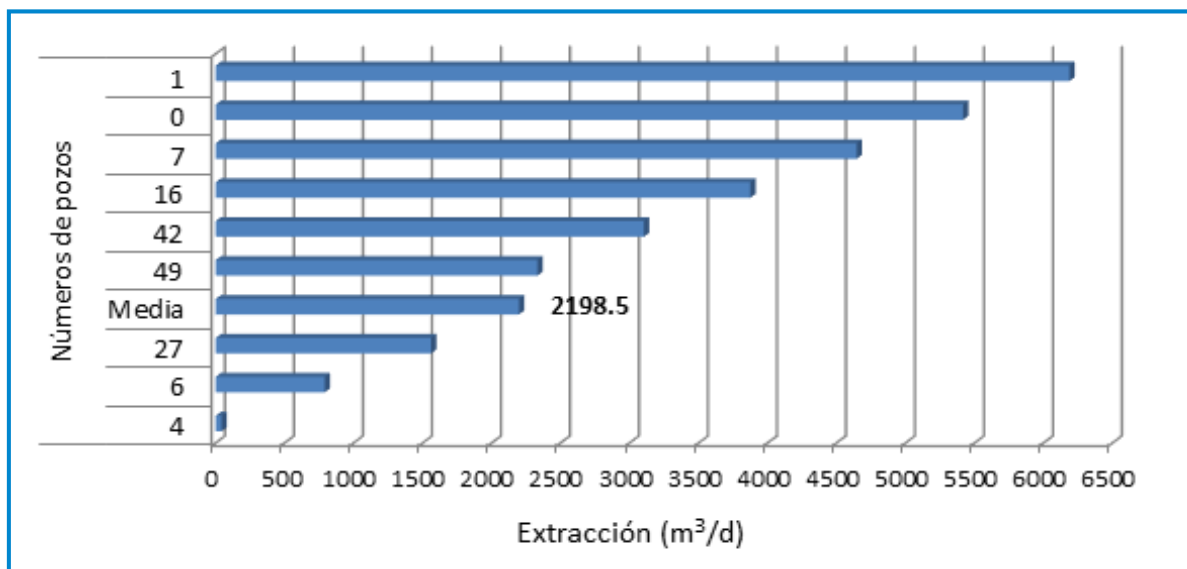
Figura 28. Distribución del espesor de agua subterránea (Muestra de 72 pozos con datos).



4.2.1.3 Extracción

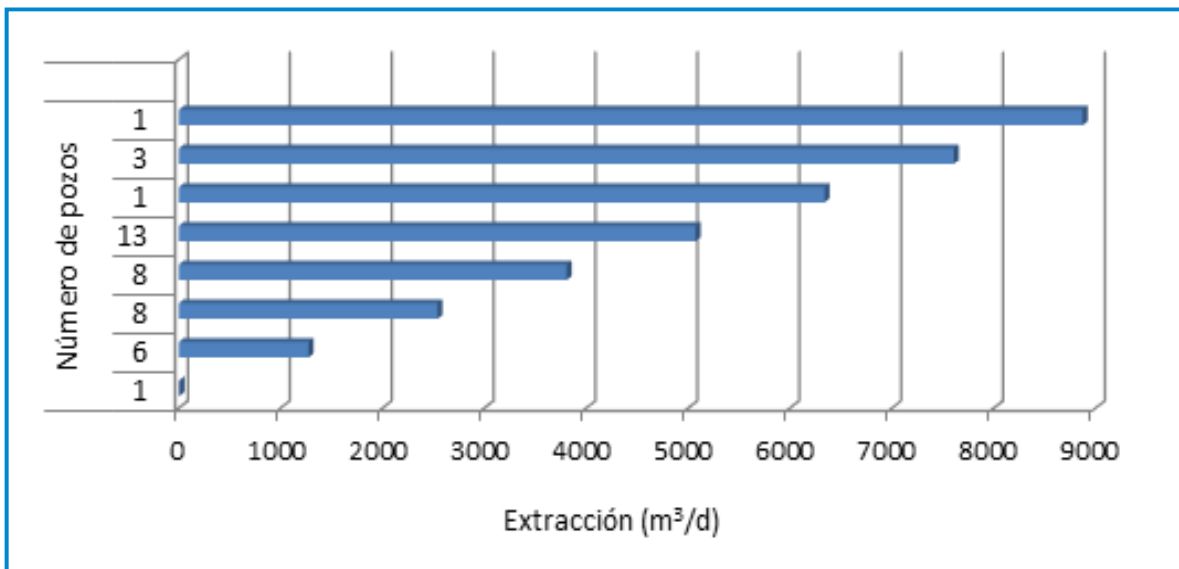
La extracción diaria en la cuenca 64 depende del tipo de infraestructura (tipo de pozo, bomba, profundidad del nivel del agua subterránea y profundidad total). Por ejemplo del total de 151 pozos privados del ingenio San Antonio se obtuvo una extracción promedio de 2,198 m³/d equivalente a una extracción total de 334,178 m³/d, esto para un periodo de seis meses que es cuando el ingenio utiliza los pozos para riego de la caña (**figura 29**).

Figura. 29 Distribución de la extracción diaria de agua subterránea de los pozos privados.



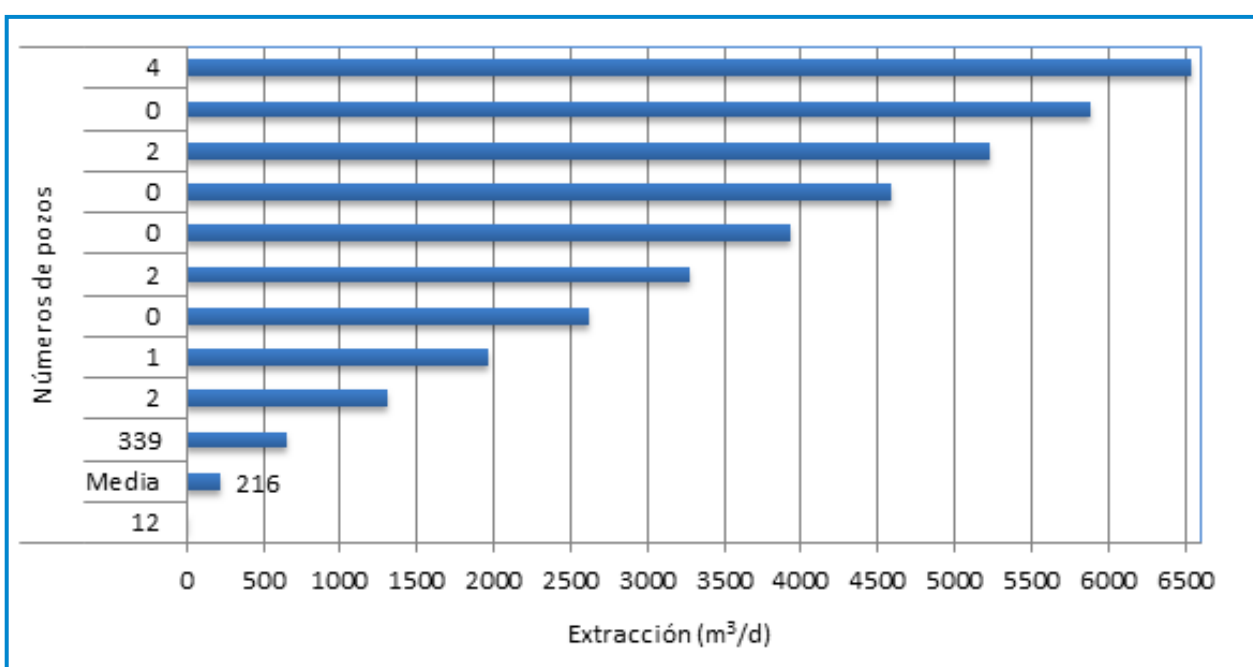
Por otro lado, la extracción diaria promedio por pozo de ENACAL es de 3,304 m³/d igual a una extracción total de 135,483 m³/d mucho mayor al ejemplo del ingenio, esto se debe a que los pozos de esta empresa suministran agua todo el año y el horario de abastecimiento también es mucho mayor al tiempo utilizado por los pozos del ingenio (fig. 30).

Figura. 30 Extracción diaria promedio por pozo de ENACAL



De los 363 pozos de la base SIASAR 2017 utilizados para abastecimiento rural se determinó una extracción promedio diaria de 216 m³ (figura 31).

Figura 31. Distribución de la extracción diaria de agua subterránea para la zona rural por rangos.



- La cantidad total de pozos existentes en la cuenca 64 todavía no se conoce con exactitud, se estimó 1,728 pozos perforados y excavados respecto a los 1,144 que se determinaron en 1999.
- La mayoría de los pozos explotan el acuífero de Occidente, con promedio del nivel freático de 22 m bajo la superficie del terreno.
- El promedio del espesor del agua subterránea es 60.8 m para una muestra de 72 pozos con datos disponibles.
- La extracción del agua subterránea es variable y depende principalmente del tipo de obra instalada, los pozos perforados con columnas de agua mayores a 50 m tienen la mayor extracción con un promedio de 2198 m³/d.

4.2.2 Estado actual cualitativo

La composición química de las aguas subterráneas cambia o evoluciona desde que se produce la recarga hasta el momento que afloran en los ríos. El agua va adquiriendo una composición diferente a medida que circula por el medio geológico y se va alejando del lugar de la infiltración. La evolución normal de las aguas sucesivamente va dominando los siguientes iones: HCO₃ (Bicarbonatos) → SO₄ (Sulfatos) → Cl (Cloruros), Ca (Calcio) → Mg (Magnesio) → Na (Sodio).

Las interpretaciones sobre la calidad de agua presentadas en el primer informe del estado de los recursos hídricos, fueron basadas en la información disponible de las siguientes instituciones: MARENA, INETER, ENACAL, ANA, FISE a 2015. Se basó principalmente en la interpretación de los sondeos verticales y en la evaluación de algunos análisis químicos seleccionados, ejecutado por INETER/MAGFOR (1999).

De este análisis resalta el descubrimiento de una interfase química comprendida por una estratificación de 2 pisos freáticos: el piso superior el lugar de agua renovable y el piso inferior el de agua almacenada, o en otras palabras una separación en recursos renovables y reservas almacenadas. La importancia de este resultado es retomado en este segundo análisis de la calidad de las aguas subterráneas, ahora tomando en cuenta análisis químicos realizados en 2015 donde se comparaban los resultados químicos de 1999 y 2015 para determinar el estado actual de la interfase.

Así, se contó con datos de análisis químicos para dos periodos. La primera campaña de muestreo se ejecutó en el margen del estudio MAGFOR /INETER

de 1999, del cual existen 71 análisis químicos en su mayoría muestreado durante el mismo año, entre ellos 38 en pozos excavados y 33 en pozos perforados. De este total se filtraron y analizaron 19 pozos excavados y 30 pozos perforados por separado.

En los años subsiguientes no se continuó con el muestreo químico iniciado en 1999, por lo que la comparación con los mismos pozos no fue posible; pero si se dispuso del muestreo de pozos realizado por ENACAL en 2015, donde se tomaron análisis de pozos construidos en conjunto con las alcaldías de la cuenca y FISE, de los cuales 7 son pozos excavados y 42 pozos perforados.

En conclusión, se puede decir que para 2015 tenemos pocos pozos excavados y los pozos perforados analizados no son idénticos con los pozos tomados como punto de referencia.

Los análisis se seleccionaron con ayuda de mapas de ubicación de los pozos muestreados de la red de INETER y ENACAL y con el propósito de obtener una buena distribución de los muestreos dentro de la Cuenca 64.

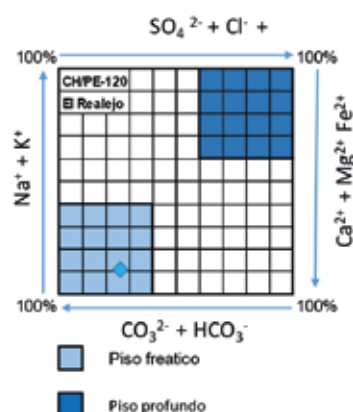
El análisis en (mg/l) se transformó primero en miliequivalentes y después en porcentajes de miliequivalentes (meq%). Se formaron los 4 grupos de componentes químicos para la presentación en un diagrama (tipo Heyl, ver ejemplo en figura 32 del análisis ejecutado por cada uno de los pozos evaluados):

- Cationes alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$);
- Cationes alcalinotérreos más el hierro ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$);
- Aniones de carbonato ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$); y
- Iones de cloro (Cl^-) de sulfato (SO_4^{2-}) y de nitrato (NO_3^-).

Figura 32. Tipo de análisis ejecutado para cada uno de los pozos

Código	Localización	Fecha	Cationes				Aniones					
			Ce	SDT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
			μS	mg/l	Na	K	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
CH/PE-120	El Realejo	Nov 99	316	327.00	9.82	0.00	48.00	15.00	201.00	24.00	11.00	18.38

Código:	CH/PE-120	Fecha:	01.11.99		
El Realejo					
Kationes	(peso equivalente)	(mg/l)	(meq)	(meq%)	Na + K
Na	23	9.82	0.43	10.5%	
K	39	0.00	0.00	0.0%	10.5%
Ca	20	48.00	2.40	58.9%	Ca + Mg
Mg	12	15.00	1.25	30.7%	89.5%
Σ		72.82	4.08	100.0%	
Aniones	(peso equivalente)	(mg/l)	(meq)	(meq%)	
CO3	30				HCO3
HCO3	61	201.00	3.3	73.3%	73.3%
Cl	35.5	24.00	0.7	15.0%	Cl+SO4+NO3
SO4	48	11.00	0.2	5.1%	26.7%
NO3	62	18.38	0.3	6.6%	
Σ		254.4	4.5	100.0%	
SDT		327.2			
Exactitud = $(rk - ra // rk + ra) \times 100$					4.90



Se recalculó también el valor de los sólidos disueltos totales y la exactitud de la análisis. Este último utilizando la fórmula:

$$\frac{(\sum \text{Aniones} - \sum \text{Cationes})}{(\sum \text{Aniones} + \sum \text{Cationes})} * 100$$

4.2.2.1 Análisis físico químico

4.2.2.1.1 Carácter hidroquímico del agua subterránea

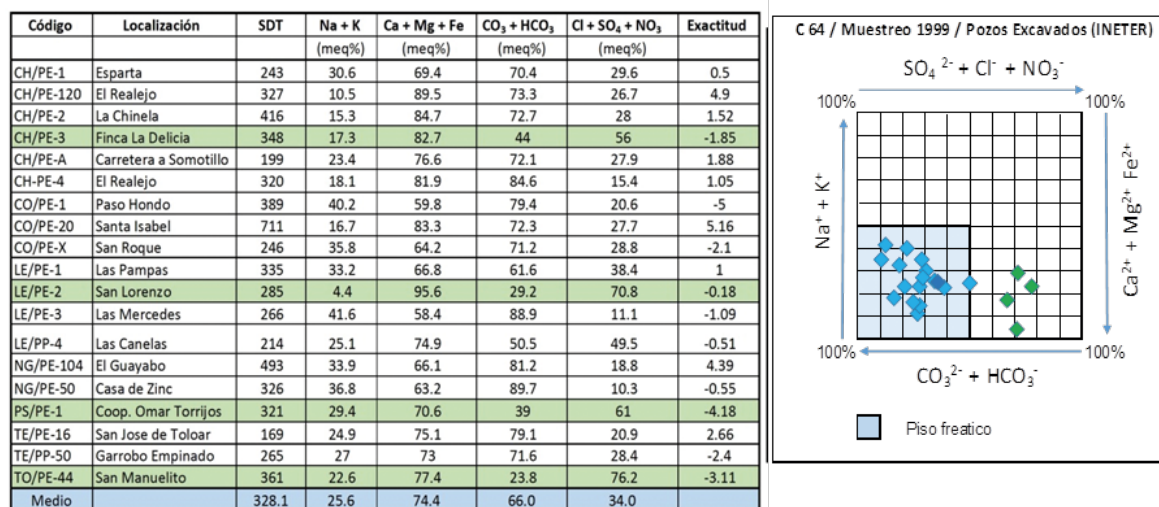
El resultado de los análisis químicos de agua subterránea se presenta de acuerdo a la fecha de muestreo y al tipo de pozo (**figura 33**). Se tomaron primero los hallazgos del muestreo de 1999 para los pozos excavados, luego se realizó el mismo ejercicio con los pozos perforados y sucesivamente para el muestreo 2015 y 2016.

De los 38 pozos excavados con análisis químico de 1999, se han evaluado 19 que explotan el piso superior del acuífero. Sus características generalmente son una profundidad limitada por el procedimiento de su construcción artesanal, con una columna de agua poco profunda y una extracción muy modesta. Asimismo reciben la infiltración directa de la lluvia; pero son también altamente vulnerables a todo tipo de contaminación, y muchos de ellos presentan un agua inadecuada para consumo humano directo.

La fuente de contaminación es la industria agropecuaria con su uso masivo de fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas. Los residuos de estos productos nocivos se quedan en el suelo y son lixiviados al agua subterránea con la infiltración de la precipitación. Los pozos excavados seleccionados de la **figura 33** forman un campo bien definido que se encuentran entre $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^{-} > 50$ (meq%) y $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} < 50$ (meq%). Al mismo tiempo representan la composición típica prevaleciente en el piso superior freático del acuífero en el año 1999. Es decir antes de la proliferación de la extracción, también contienen porcentajes altos de iones alcalinotérreos y de aniones carbonatos, así como porcentajes reducidos de iones alcalinos, de sulfato, cloro y nitrato.

Los 4 análisis marcados con color verde, que se desvían del campo de concentración, tienen todos altos valores de nitrato y de calcio. Al parecer es muy probable que estuvieran afectados de una fuerte contaminación por lixiviación de fertilizantes (**figura 33**).

Figura 33. Selección de pozos excavados, muestreo 1999, síntesis de la evaluación

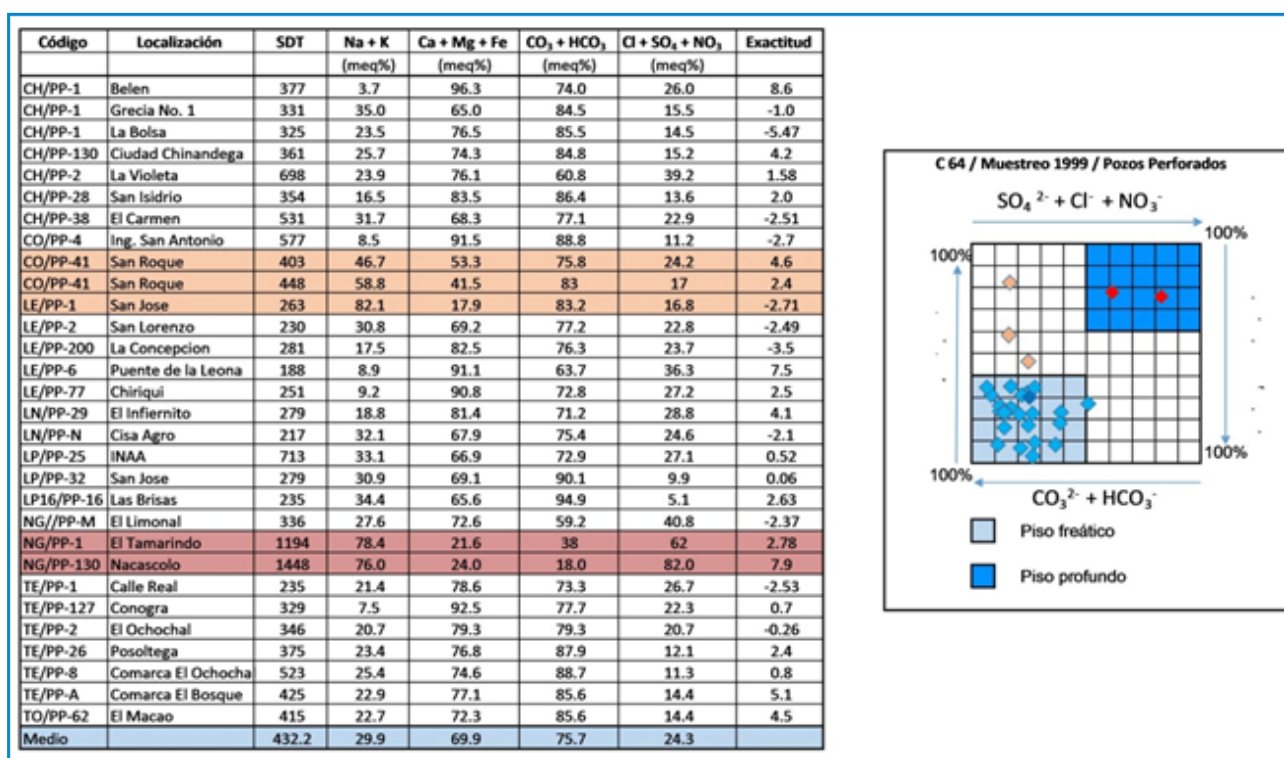


En la **figura 34** presenta los resultados principales de la evaluación de los 30 pozos perforados de 1999. El diagrama muestra la misma imagen de los pozos excavados. La gran mayoría de los pozos perforados seleccionados y evaluados se sitúan en un campo bien definido, que corresponde al piso freático, solamente cinco pozos se encuentran fuera del campo. El límite de los cationes alcalinos (Na⁺ + K⁺) del campo es con <40 (meq%) 10 (meq%) más estrecho que para los pozos excavados.

En conclusión se puede decir que en el año 1999 el piso superior del acuífero recibió suficiente recarga para satisfacer la demanda de extracción por pozos excavados y pozos perforados.

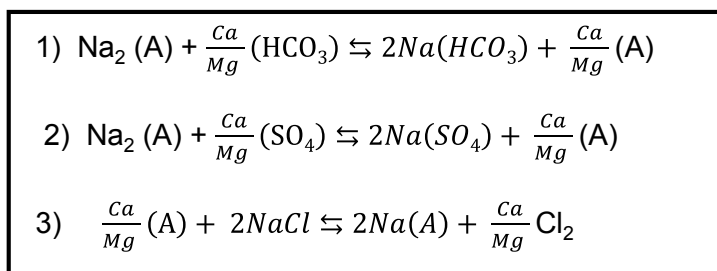
Los tres pozos marcados con color rosado tienen una composición predominante de "Na - HCO₃", una combinación que no existe en la naturaleza, por lo cual es muy probable que se esté en presencia de un fenómeno de intercambio de iones, originado por zeolitas (mineral aluminosilicato hidratado). Es conocido que los sedimentos de origen volcánico tienen un alto potencial de intercambio de iones y sus fuentes de origen pueden ser, por ejemplo, depósitos volcánicos ricos en zeolita.

Figura 34. Resultados de la evaluación de la selección de pozos perforados, muestreo 1999.



Los sistemas de intercambio iónico más frecuentes son presentados en las tres ecuaciones de la figura 35. Para los tres análisis con color marrón de la figura 34 es probable un intercambio entre $(Ca^{2+} \leftrightarrow 2 Na^+)$, es decir que la ecuación (1) de la figura 35 explica el procedimiento.

Figura 35. Tres ecuaciones que describen los mecanismos de intercambio de iones



(A) es el Intercambiador

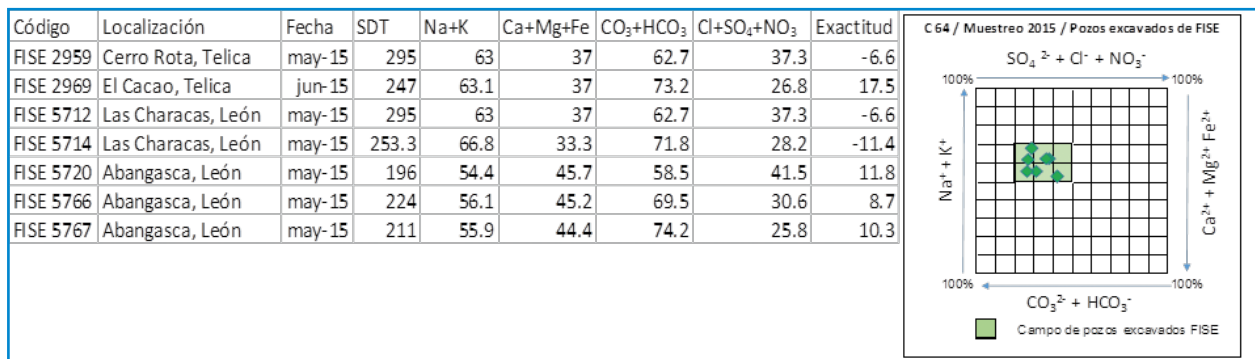
La composición del agua del piso inferior profunda y almacenada ha sido solamente documentada por dos pozos, ambos situados en el área de Nagarote (puntos rojos en la figura 34). Los análisis demuestran un SDT > 1200 (mg/l) y una temperatura elevada de más que 30°C hasta 37°C. La predominancia de bicarbonato calcáreo ha sido sustituida por una predominancia de cloruro sódico.

Por otro lado, la **figura 36** muestra los 7 pozos excavados analizados del muestreo de calidad de ENACAL en 2015. Los 7 pozos analizados se sitúan próximo uno al otro en el centro del diagrama y forman un campo común definido por:

- $\text{Na}^+ + \text{K}^+$: 50 - 70 (meq%);
- $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$: 30 - 50 (meq%);
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$: 50 - 80 (meq%);
- $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$: 20 - 50 (meq%).

Este campo no coincide más con el campo de los pozos excavados del muestreo de 1999. El componente de los aniones de carbonato se mantuvo todavía en la posición anterior, sin embargo los cationes alcalinotérreo más el hierro ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$) han sido sustituidos en su posición por los cationes de alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), cuya proporción aumentó a más de 50 (meq%).

Figura 36. Análisis de pozos excavados del muestreo de 2015



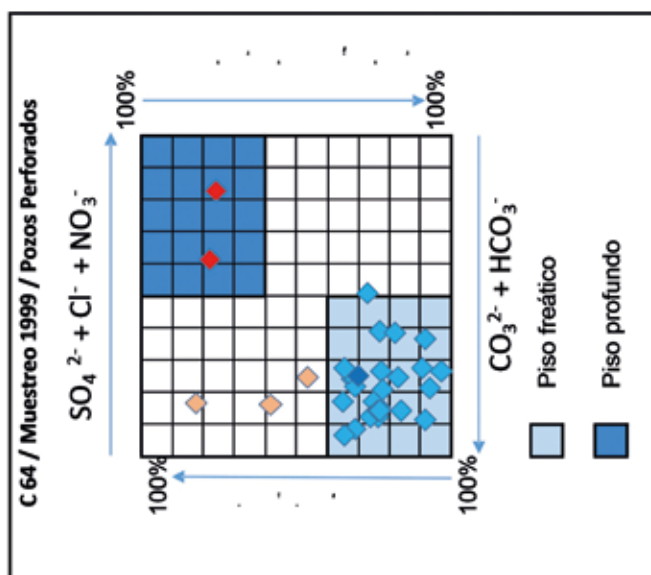
De las 42 muestras de pozos perforados analizados de 2015, 31 pozos están ubicados en el departamento de León, y 11 en el departamento de Chinandega.

En el diagrama de abajo (figura 37), los pozos forman un conjunto bien agrupado, un campo compuesto de 19 mallas, con el centro en la malla:

- $\text{Na}^+ + \text{K}^+$: 50 - 60 (meq%);
- $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$: 40 - 50 (meq %);
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$: 60 - 70 (meq%);
- $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$: 30 - 40 (meq%).

El agua tiene una composición predominante de Na (K)-HCO₃ y puede ser interceptada por procesos de cambio de iones.

Figura 37. Análisis de pozos perforados del muestreo de 2015



Código	Localización	SDT	Na + K (meq%)	Ca + Mg + Fe (meq%)	CO ₃ + HCO ₃ (meq%)	Cl + SO ₄ + NO ₃ (meq%)	Exactitud
CH/PP-1	Belen	377	3.7	96.3	74.0	26.0	8.6
CH/PP-1	Grecia No. 1	331	35.0	65.0	84.5	15.5	-1.0
CH/PP-1	La Bolsa	325	23.5	76.5	85.5	14.5	-5.47
CH/PP-130	Ciudad Chinandega	361	25.7	74.3	84.8	15.2	4.2
CH/PP-2	La Violeta	698	23.9	76.1	60.8	39.2	1.58
CH/PP-28	San Isidro	354	16.5	83.5	86.4	13.6	2.0
CH/PP-38	El Carmen	531	31.7	68.3	77.1	22.9	-2.51
CO/PP-4	Ing. San Antonio	577	8.5	91.5	88.8	11.2	-2.7
CO/PP-41	San Roque	403	46.7	53.3	75.8	24.2	4.6
CO/PP-41	San Roque	448	58.8	41.5	83	17	2.4
LE/PP-1	San Jose	263	82.1	17.9	83.2	16.8	-2.71
LE/PP-2	San Lorenzo	230	30.8	69.2	77.2	22.8	-2.49
LE/PP-200	La Concepcion	281	17.5	82.5	76.3	23.7	-3.5
LE/PP-6	Puente de la Leona	188	8.9	91.1	63.7	36.3	7.5
LE/PP-77	Chiriqui	251	9.2	90.8	72.8	27.2	2.5
LN/PP-29	El Infiernito	279	18.8	81.4	71.2	28.8	4.1
LN/PP-N	Cisa Agro	217	32.1	67.9	75.4	24.6	-2.1
LP/PP-25	INAA	713	33.1	66.9	72.9	27.1	0.52
LP/PP-32	San Jose	279	30.9	69.1	90.1	9.9	0.06
LP16/PP-16	Las Brisas	235	34.4	65.6	94.9	5.1	2.63
NG//PP-M	El Limonal	336	27.6	72.6	59.2	40.8	-2.37
NG/PP-1	El Tamarindo	1194	78.4	21.6	38	62	2.78
NG/PP-130	Nacascolo	1448	76.0	24.0	18.0	82.0	7.9
TE/PP-1	Calle Real	235	21.4	78.6	73.3	26.7	-2.53
TE/PP-127	Conogra	329	7.5	92.5	77.7	22.3	0.7
TE/PP-2	El Ochochal	346	20.7	79.3	79.3	20.7	-0.26
TE/PP-26	Posoltega	375	23.4	76.8	87.9	12.1	2.4
TE/PP-8	Comarca El Ochocha	523	25.4	74.6	88.7	11.3	0.8
TE/PP-A	Comarca El Bosque	425	22.9	77.1	85.6	14.4	5.1
TO/PP-62	El Macao	415	22.7	72.3	85.6	14.4	4.5
Medio		432.2	29.9	69.9	75.7	24.3	

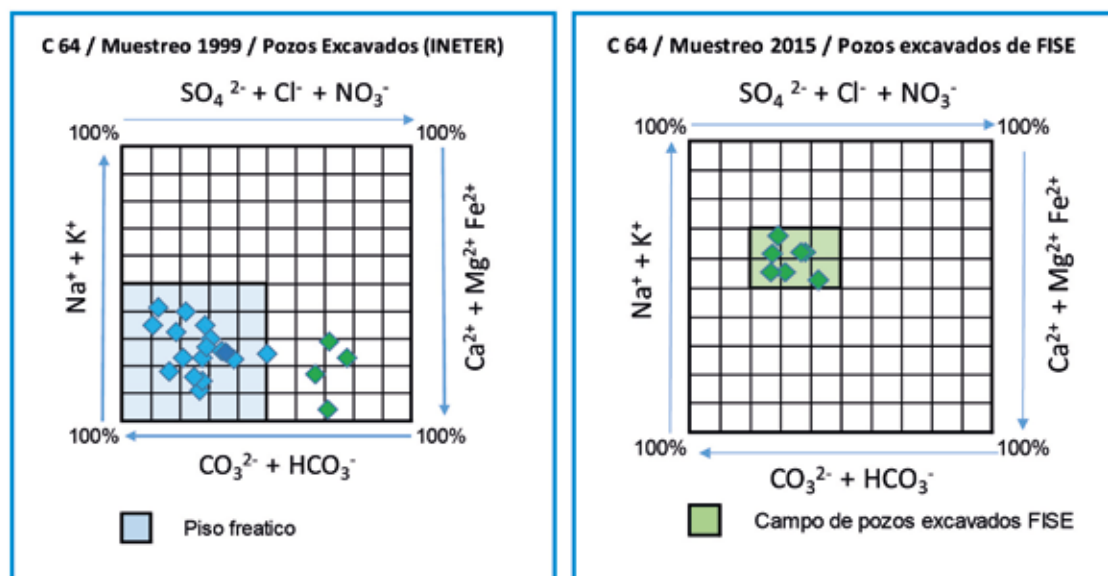
Los diagramas de la **figura 38** comparan la calidad de agua del acuífero freático de 1999 (línea base) con la situación en el año 2015.

Los pozos excavados del **muestreo de 1999** forman un campo bien definido que se encuentra entre $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- > 50$ (meq%) y $\text{Na}^+ + \text{K}^+ < 50$ (meq%). El campo representaba la composición típica de predominancia en el piso superior freático del acuífero en el año 1999, es decir antes de la proliferación de la extracción. Tenían porcentajes altos de iones alcalinotérreos y de aniones carbonatos y porcentajes reducidos de iones alcalinos y de sulfato, cloro y nitrato.

En el **muestreo de 2015** el componente de los cationes de alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) aumentó de manera significativa y se encuentra enteramente fuera de los límites de calidad definidos para el piso freático en 1999; el componente de los cationes alcalinotérreos más el hierro ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$) se redujo de manera parecida.

Los aniones se mantuvieron todavía en la posición del campo definido para los pozos excavados de la línea base con valores de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ entre 50-75 (meq%) y valores de $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ con valores análogos de 25 - 50 (meq%). El agua con la composición de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ del año 1999 se transformó en un agua de $\text{Na}(\text{HCO}_3)$ en el año 2015.

Figura 38. Comparación del muestreo de 1999 y 2015 para pozos excavados

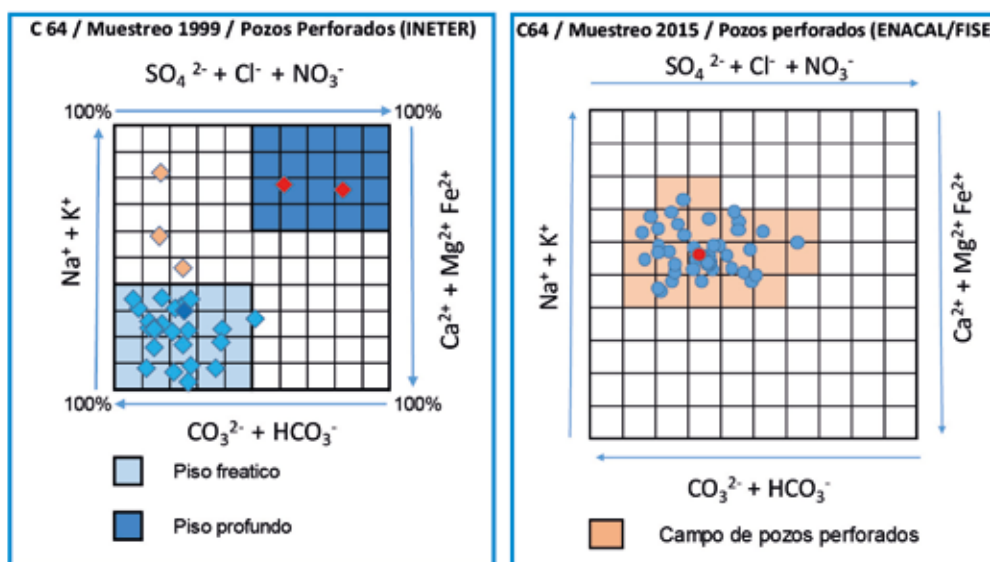


Tenemos pocos pozos excavados para una comparación más completa, por lo cual los resultados presentados están basados en la cantidad de puntos disponibles, que pueden dar un indicio indudable sobre una desviación marcada de la composición química comparada con la situación durante los análisis de referencia en 1999. Este es un resultado inesperado, sabiendo que los pozos excavados son los que reciben la infiltración directa de la precipitación, siendo absolutamente necesario confirmar esta interpretación con más

análisis de pozos excavados. Si el resultado se confirma, sería un indicador importante de que todo el sistema hidráulico, incluyendo el piso superior freático, se encuentra en desequilibrio.

La comparación de los dos periodos de muestreo en los diagramas de la figura 39 muestra un deslizamiento completo de los pozos perforados del año 2015 hacia arriba. En 2015 ya ninguno de los 42 pozos analizados se encuentra en el campo de calidad de agua del piso freático de 1999. Es muy probable que la separación del acuífero en dos pisos con calidad de agua diferente del año 1999 no exista más y que las aguas de calidad diferente se han mezclado durante ese período de medición. El proceso es probablemente similar al derrumbe del interface entre agua dulce y salada en zonas de intrusión marina cuando la capa de agua dulce es sobre-explotada.

Figura 39. Comparación del análisis de 1999 y 2015 para pozos perforados



El cambio se muestra también en la comparación de los valores medios de los dos periodos de muestreo (figura 40). El SDT no es muy apropiado por una comparación, porque no se comparan los mismos pozos. Para los 4 componentes reagrupados se puede decir que los componentes "buenos" de agua de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ y de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, provenientes de la infiltración reciente de lluvia se redujeron, - y los componentes "malos" de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ aumentaron, representando un agua almacenada y más salada

En resumen, el cambio en la calidad de agua es significativo pero todavía no dramático. El agua extraída queda apta para el consumo humano y para fines de irrigación. Los valores de SDT quedan moderados y están todavía por debajo del límite de 500 (mg/l).

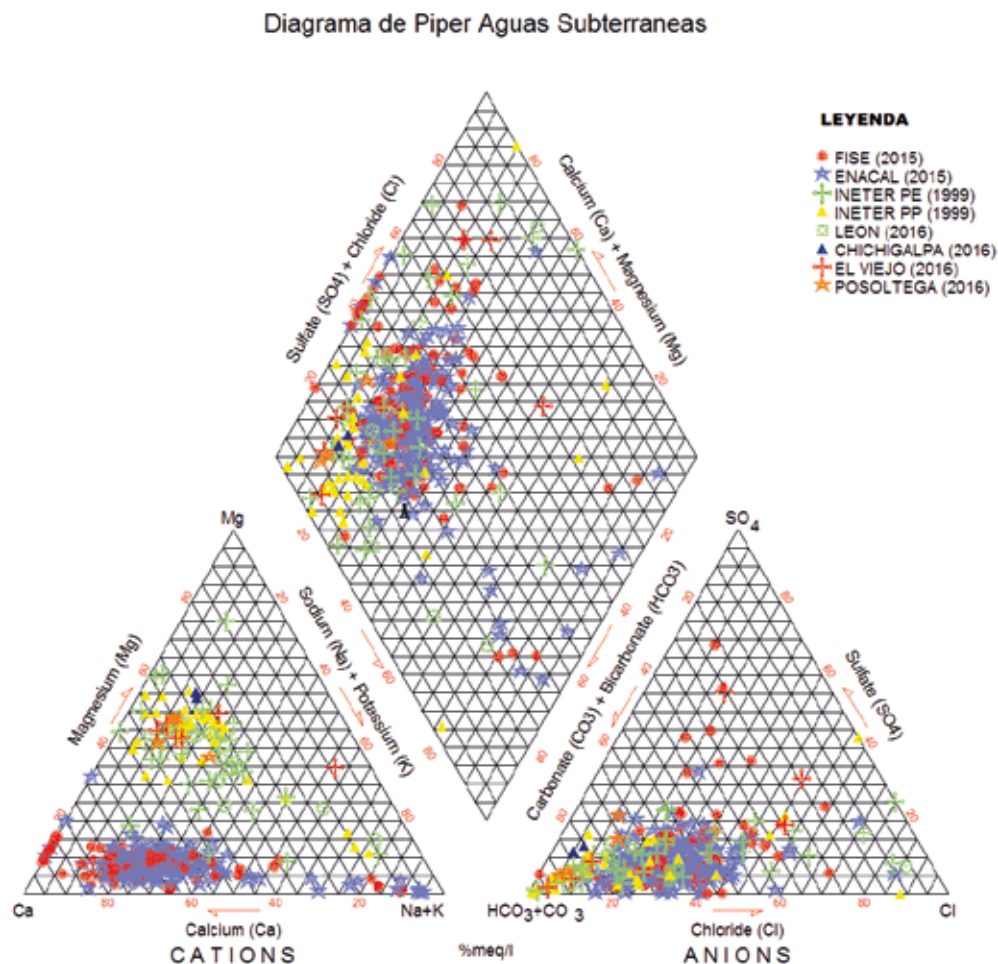
Figura 40. Comparación de los valores medios de las dos series de muestreo

Comparacion de dos periodos de Muestreo	Muestreo de	SDT (mg/l)	Na + K (meq%)	Ca + Mg + Fe (meq%)	Co3 + HCO3 (meq%)	Cl + SO4 + NO3 (meq%)
Valores medios de 19 PP	1999	432.2	29,9	69,9	75,7	24,3
Valores medios de 42 PP	2015	325,1	57,3	42,7	67,1	32,9

Luego de analizar los resultados de acuerdo a su año muestreo, se realizó una caracterización general hidroquímica de las aguas subterráneas siendo utilizados tres sets de datos. El primero correspondiente al estudio de MAGFOR/INETER de 1999, el segundo corresponde a los datos generados por el muestreo llevado a cabo por ENACAL en el 2015 y finalmente con los análisis a pozos levantados en junio del 2016 dentro del marco de la elaboración del diagnóstico.

El primer resultado fue la caracterización iónica de las aguas subterráneas, principalmente del tipo Bicarbonatadas-Cálcicas-Magnésicas (HCO_3^- - Ca - Mg), principalmente los símbolos del año 1999 (colores verde claro y amarillo) y con una migración hacia Sulfatada-Sódica-Potásica representada por los símbolos del año 2015 y 2016 (símbolos con colores rojos, morado, azul y anaranjado) (figura 41).

Figura 41. Diagrama de Piper para las muestras de agua subterránea

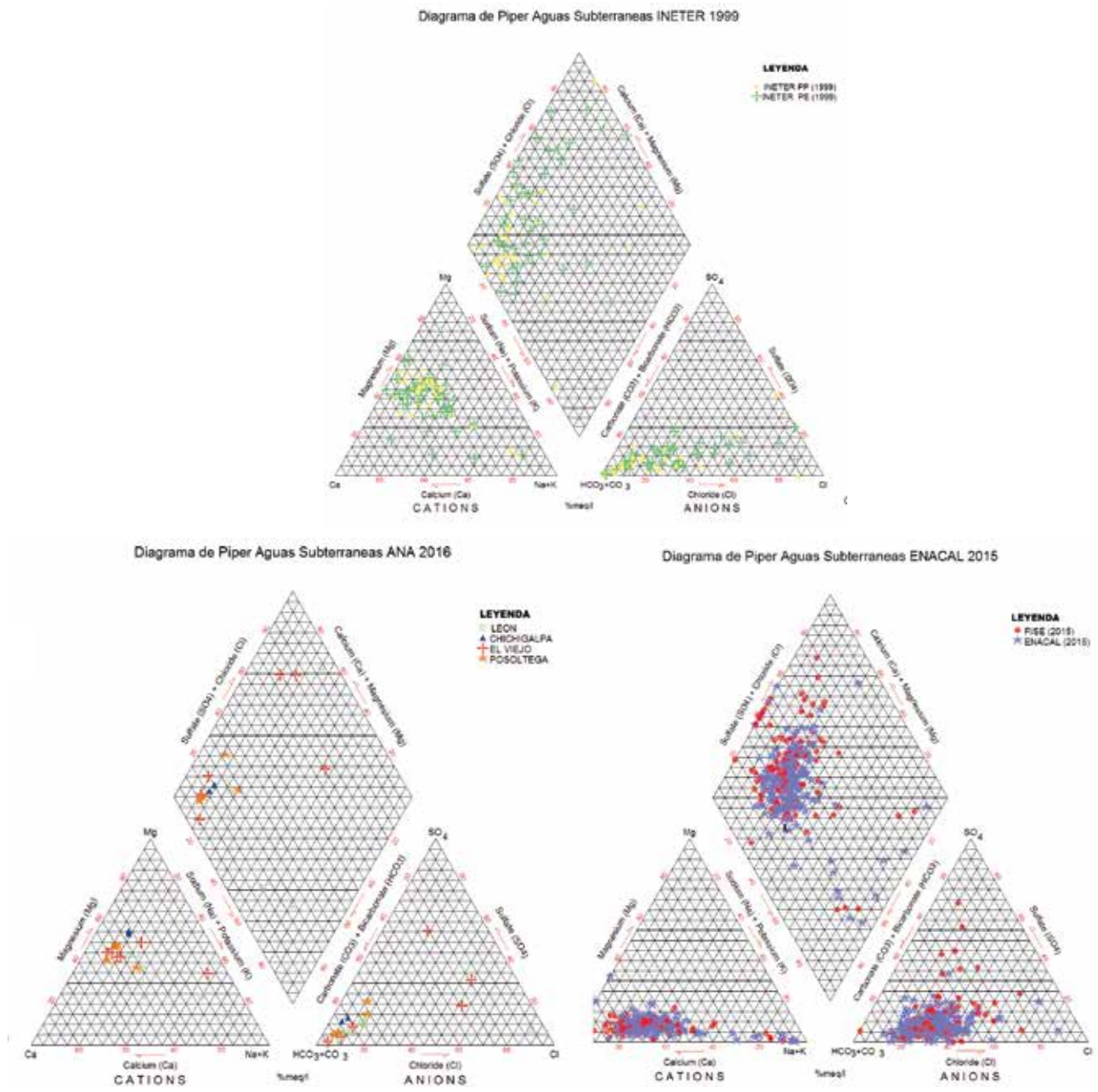


También destaca de los datos del estudio de MAGFOR/INETER (1999), que la composición de las aguas en los pozos perforados era del tipo Bicarbonata-Cálcica-Magnésica, mientras que el agua en los pozos excavados es del mismo tipo, aunque se observa una tendencia al tipo de agua clórica (**figura 42**).

El ion Cl⁻ es encontrado frecuentemente en el agua de lluvia y disminuye rápidamente una vez que se infiltra. Por lo que encontrar la tendencia hacia aguas clóricas en los pozos excavados nos sugiere que las aguas de los pozos excavados, son de tránsito rápido.

En la **figura 42** se muestran los diagramas de piper para tres años diferentes, ahora incluidos los análisis de 2016, esto para tratar de dilucidar si todavía los dos pisos freáticos identificados en 1999 todavía se encontraban mezclados a como lo habían demostrado los análisis de 2015. Es de especial interés el resultado mostrado en el diagrama con resultados de 2016 con una composición química más similar a la del año de 1999, esto puede deberse a una recuperación de la recarga en el acuífero, interpretado como una recuperación del piso freático superior o de aguas renovables. Esto también puede estar asociado a la fecha de muestreo realizada, al final de la época lluviosa de 2016 permitiendo el intercambio iónico que puede generar la recuperación del carácter químico original del piso freático superior. Cabe señalar que la mezcla de los dos pisos está asociada a una sobreexplotación de la recarga del acuífero y al comportamiento lluvioso de 2015 determinado por un año por debajo del promedio de precipitación en la zona.

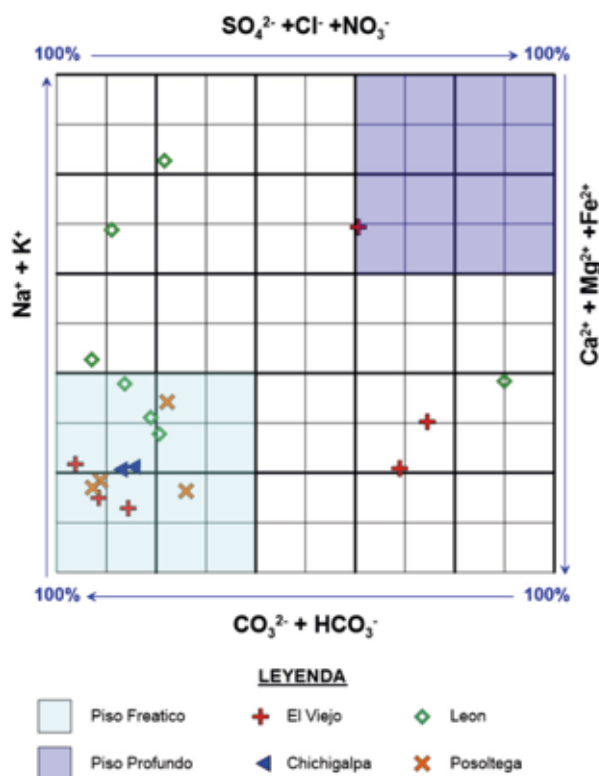
Figura 42. Diagramas de Piper para los 3 sets de datos en la Cuenca 64.



Los resultados obtenidos muestran que el comportamiento de las aguas subterráneas es muy parecido al obtenido en el año de 1999, en donde se observa un campo muy definido el cual corresponde con las aguas superficiales freáticas, dichos pozos se encuentran ubicados principalmente en los municipios de Posoltega, León, Chichigalpa y El Viejo, y posiblemente corresponde a pozos que se alimentan del acuífero freático y de rápido tránsito.

Se observa que uno de los pozos se localiza en el campo definido para las aguas almacenadas, este pozo se localiza en el municipio de El Viejo, en donde el basamento del acuífero no se encuentra a grandes profundidades, por lo que es posible que se encuentren valores asociados al piso profundo del acuífero (figura 43).

Figura 43. Resultados de la evaluación de los pozos excavados y perforados en el año 2016.



- Como resultado de la evaluación se puede concluir que la calidad de agua de todos los pozos excavados y perforados del muestreo 2015, situadas en todas partes de la cuenca ha desmejorado, si se compara con los resultados del año 1999.
- El resultado indica un acuífero en transición entre un estado en equilibrio para el periodo 1999- 2012, hacia un estado de desequilibrio y de sobre-explotación en el año 2015.

4.2.2.1.2 Parámetros físico químicos

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH, Sólidos Totales Disueltos, Turbidez, Dureza y Alcalinidad, las que varían a partir de su recorrido en el medio acuífero y en el tiempo.

Se analizaron un total de 42 muestras de aguas superficiales en el periodo de diciembre del 2014 a enero de 2016 y 19 muestras de pozos desde mayo a agosto del 2016.

La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable.

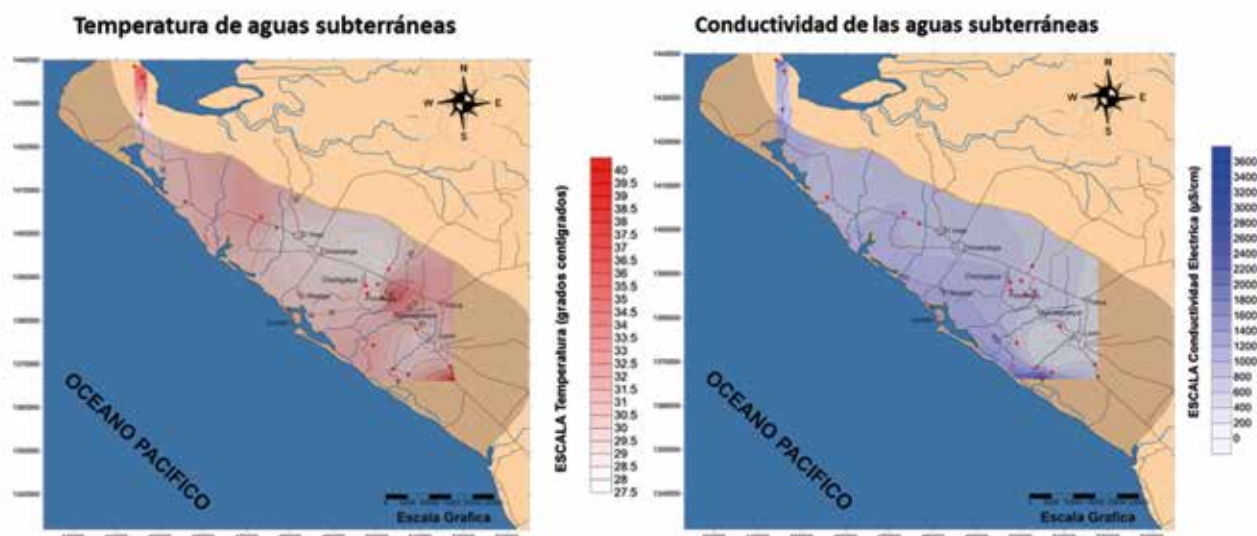
Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. También, la contaminación térmica puede causar trastornos en ecosistemas acuáticos ya que en algunos casos el rango de temperatura de estos, es sumamente restringido.

La temperatura obtenida durante el muestreo realizado en el año 2016 muestra un rango desde 28.1 a 39.9°C. El punto con menor temperatura correspondió al pozo AN-877, localizado en el Tololar en el municipio de Posoltega y la temperatura más alta correspondió al pozo AN-604 en un pozo comunitario Los Ranchos en el municipio de León.

Los valores promedios obtenidos en las muestras de los pozos son alrededor de 31 a 32°C. En la figura 44(a), se observa que las temperaturas más bajas se localizan entre las ciudades de El Viejo y Chichigalpa, mientras que las mayores temperaturas se localizan en los alrededores de Posoltega.

Los valores obtenidos de conductividad eléctrica en las muestras de los pozos varían desde los 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo AN-600, ubicado en la comunidad lomas del panecillo a 3680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo AN-599, localizado en el pozo comunitario San Silvestre, ambos en el municipio de León. En general el valor promedio de los valores conductivos es de alrededor 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**fig. 44 (b)**).

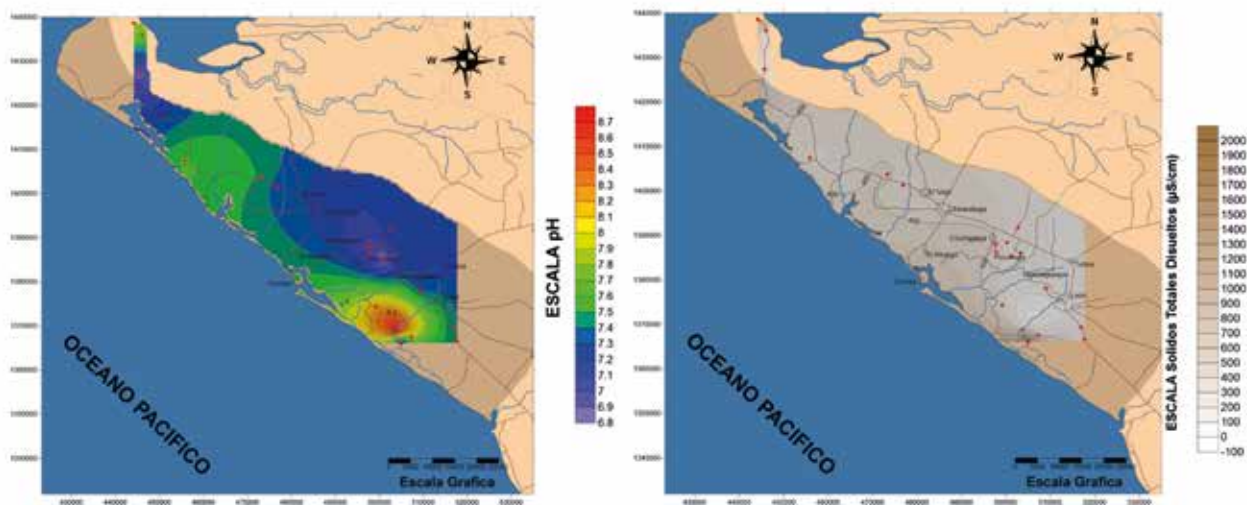
Figura 44. Comportamiento de la temperatura y la conductividad eléctrica en las aguas subterráneas.



Los valores obtenidos de pH en las muestras de aguas subterráneas variaron desde los 6.75 en el pozo AN- 875 en la comunidad de Chiquimulapa, en el municipio de Posoltega, hasta los 8.73 en el pozo An-600 correspondiente a la comunidad Lomas del Panecillo en el municipio de León (**figura 45**). Los valores de pH de las muestras subterráneas no presentaron un rango tan amplio como las superficiales, con un valor promedio de 7.45.

Los sólidos totales disueltos en las muestras analizadas tienen un valor promedio de $500 \mu\text{S/cm}$, correspondiendo el más alto al pozo AN-599 en la comunidad San Silvestre en el municipio de León con un valor de $2090.28 \mu\text{S/cm}$ y el valor mínimo obtenido correspondió al pozo AN-600 en la comunidad Lomas del Panecillo, con un valor de $133.36 \mu\text{S/cm}$.

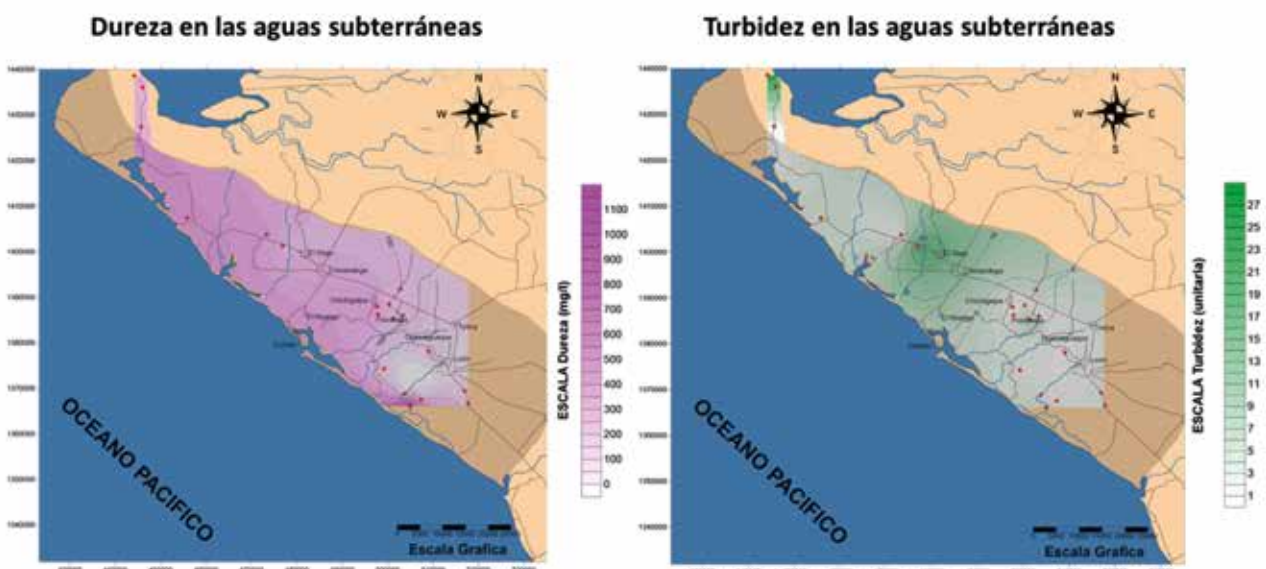
Figura 45. Comportamiento de pH y sólidos disueltos totales de las aguas subterráneas



Respecto a la turbidez, las muestras tomadas en los pozos muestran que la mayoría de los valores son menores a 5. El rango de los datos fue de 0.4 en el pozo AN-874 en la escuela primaria de Posolteguilla y el pozo con mayor turbidez correspondió al pozo AN-609 en la comunidad de Potosí, municipio de El Viejo con un valor de 27.65. El valor promedio de la turbidez en los pozos analizados fue de 4.45 (figura 46).

El pozo con valores más altos de dureza corresponde al pozo AN-599 correspondiente al pozo comunitario de San Silvestre en el municipio de León con un valor de 1,165 mg/l, y el pozo con menor dureza corresponde al pozo AN-600 en la comunidad de Lomas del Panecillo, municipio de León con un valor de 20 mg/l, el promedio de los valores de dureza para los pozos de la Cuenca 64 es de 251 mg/l.

Figura 46. Comportamiento de la dureza y turbidez de las aguas subterráneas.



4.2.2.1.3 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una de las pruebas más importantes para medir los efectos contaminantes de un agua residual, pero también es un parámetro de importancia en aguas potables. La DBO es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Por materia biodegradable se entiende o se interpreta como la materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos y que proporciona energía como resultado de su oxidación.

La DBO es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación en materia orgánica biodegradable, en aguas residuales domésticas e industriales. Esta prueba es una de las más importantes en el control de contaminación en aguas, las aguas naturales generalmente tienen valores muy bajos de DBO, pero es muy conveniente medir este parámetro sobre todo cuando la fuente de suministro es un agua de dudosa calidad.

Los valores obtenidos para las muestras tomadas de los pozos muestran que los pozos con mayor demanda de oxígeno corresponde a 3.88 mg/l correspondiente al pozo AR-873 en la comunidad de San Silvestre municipio de León y los valores de menor demanda bioquímica a los pozos AR-601 Y AR-603, con un valor de 1 mg/l en las comunidades del Troilo y San Pedro en el municipio de León. El valor promedio de la demanda de los pozos analizados es de 2.17 mg/l (**tabla 20**).

Tabla 20. Resultados de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno de 7 pozos en León

ID Lab	COMUNIDAD	MUNICIPIO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
AR-599	Pozo comunitario, San Silvestre	León	2.83	46.67
AR-600	Pozo comunitario, Lomas del Panecillo	León	<1	<10
AR-601	Pozo comunitario. Troilo	León	2.88	33.33
AR-602	Pozo comunitario, Abangasca	León	1.88	<10
AR-603	Pozo comunitario, San Pedro	León	<1	<10
AR-604	Pozo comunitario, Los Ranchos	León	1.75	10
AR-873	Pozo San Sebastián. Sr Isaiás Cruz.	León	3.88	10.8

4.2.2.2 Análisis bacteriológicos

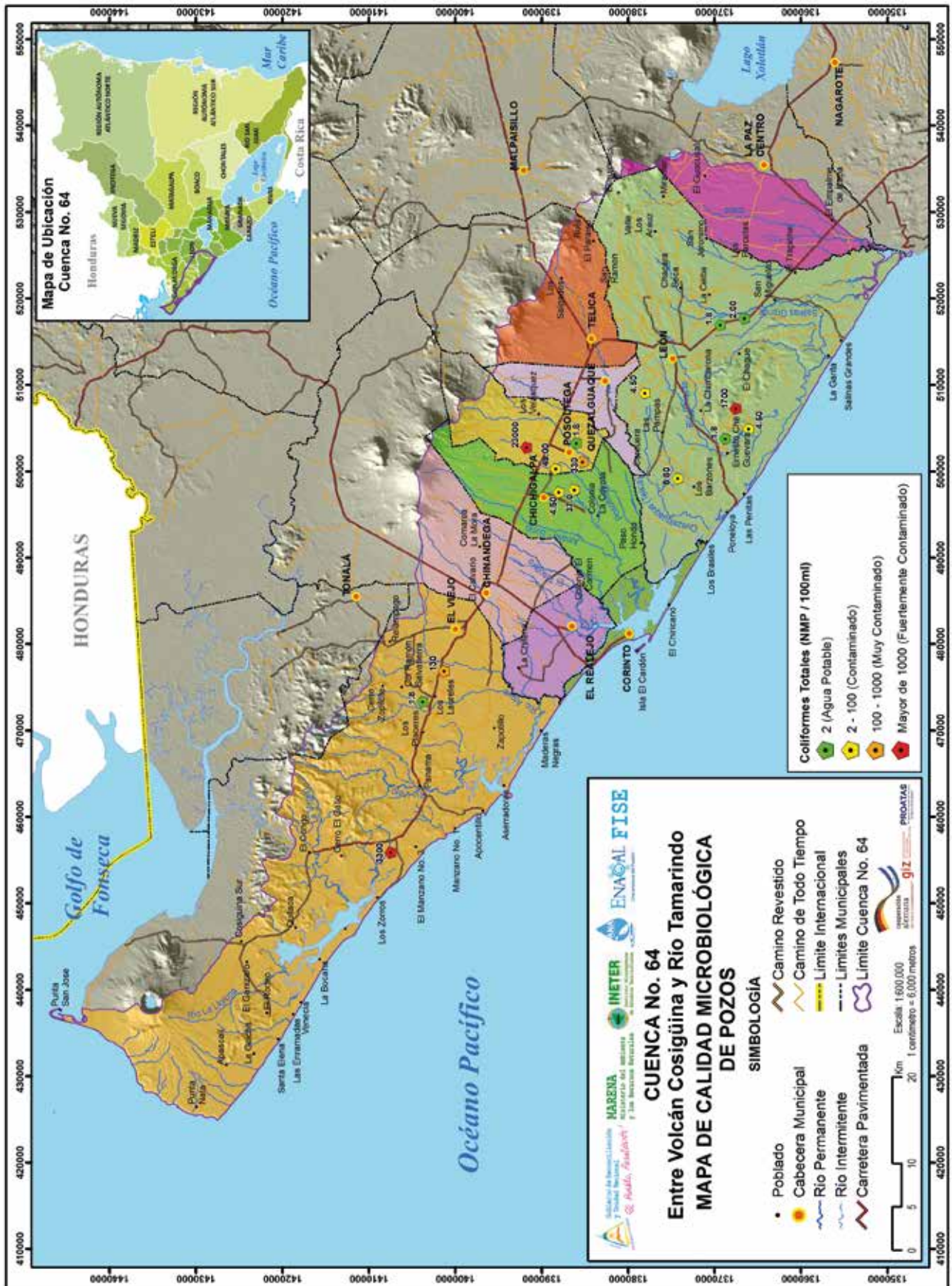
El punto de muestreo con menor cantidad de coliformes totales fue el pozo MB-0096 en el estero de aserradores, comunidad del Pedregal, municipio de El Viejo con un valor de $4.5E+00$ (**anexo 2**). Los resultados de los análisis de los pozos para los coliformes termotolerantes muestran que el valor promedio de los datos muestreados es de 1587.87 NMP/100ml.

El punto con los valores más altos de coliformes totales corresponde al pozo MB-1318 NMP/100 ml en el Tololar No.1, en el municipio de Posoltega con un valor de 23,000 unidades, un total de 6 pozos dieron valores de concentraciones de coliformes totales menores a los 1.8 unidades (**mapa 20**).

Los resultados para la bacteria *Escherichia coli* muestran que el punto de mayor contaminación corresponde al pozo MB-1314 localizado en San Sebastián, municipio de León, con un valor de 4900 unidades, un total de 13 pozos presentaron valores menores a 1.8 unidades y el promedio para los pozos analizados fue de 290.75 unidades de formación.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Mapa 20. Calidad microbiológica de las aguas subterráneas de la Cuenca 64



4.2.2.3 Análisis orgánicos: Plaguicidas Organoclorados, Plaguicidas Organofosforados, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y Bifenilos Policlorados

Los análisis obtenidos de las aguas subterráneas muestran que no se detectaron rastros de plaguicidas organoclorados, ni órgano fosforados, ni hidrocarburos aromáticos. Se realizaron un total de 6 análisis en pozos seleccionados para plaguicidas y siete muestras para bifenilos-policlorados (PCB) y para hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y tampoco se detectaron valores anómalos.

4.2.2.4 Análisis inorgánicos: Metales Pesados

De los análisis de metales pesados en 346 sitios realizados por ENACAL en 2015 sólo se encontraron 2 pozos en La Paz Centro (MABE Cuatro Palo y PP No. 2 Cuatro Palo) con concentraciones de arsénico por encima de la norma CAPRE (10 µg/L). También en La Palma, La Paz Centro en otros dos pozos: un pozo con 77 µg/L y un pozo excavado Arístides Sánchez en León 38.23 µg/L, esta vez con concentraciones de plomo. ENACAL por su parte brinda seguimiento a estos sistemas para mejorar la calidad de los mismos.

- Las aguas subterráneas comprendidas dentro de la cuenca muestran buena calidad, pero siempre necesitan un tratamiento previo para consumo humano.
- La calidad química del agua subterránea analizada para 2015 mostró un deterioro respecto a la calidad determinada en 1999, demostrándose incluso una mezcla de los tipos de agua: de agua de buena calidad (agua renovable) a agua de mediana calidad (agua de reserva).
- El deterioro de la calidad del agua subterránea por momento es puntual, determinado en 2015.
- La composición química de los análisis químicos realizados a finales de 2016 muestra una ligera recuperación del piso freático.
- Se determinó contaminación bacteriológica puntual en algunos pozos excavados.
- Dos pozos en La Paz Centro muestran concentraciones de arsénico un poco por encima del valor límite de la norma CAPRE. También en La Paz Centro y la ciudad de León se encontraron dos pozos con contaminación con plomo.

4.3 Monitoreo de las aguas subterráneas

El monitoreo de las aguas subterráneas en la Cuenca 64 estaba mayormente enfocado a medir los niveles de los 70 pozos que pertenecían a la red de INETER. Estos pozos eran medidos semestralmente por la institución. Como parte de las medidas de adaptación al cambio climático en el marco de la elaboración de este diagnóstico se firmó un convenio con INETER y las diez alcaldías que conforman la cuenca. Dentro de este convenio se amplió la red de pozos de monitoreo a 184 para tener una mayor distribución de los niveles de agua subterránea y medir con multiparamétrico los parámetros físico-químico de campo (**foto 18**). Esta rutina de medición INETER la realizará con colaboración de las 10 alcaldías, que también llevaran a cabo mediciones mensuales de los 184 pozos.



Foto 18. Capacitación en medición de parámetros físico químico a los técnicos municipales con equipo medidor multiparamétrico.

También se realizará muestreo de agua en 43 pozos para vigilar la calidad microbiológica y física química en la cuenca. Este tipo de mediciones a mediano o largo plazo no existían en el área de estudio, sólo mediciones puntuales relacionadas la mayoría de las veces a investigaciones o tesis universitarias. El muestreo será anual y está a cargo de las alcaldías, en el que se contratará a un laboratorio certificado para el análisis de las muestras de agua recolectadas.

Enacal por su parte continua realizando monitoreo automático y manual de los niveles de agua subterránea de sus pozos que inició en 2015. El monitoreo realizó muestreos en el 2015 y 2016, que se pueden utilizar para realizar la rutina de muestreo de calidad de agua para los pozos.

5 Consumo y Demanda

La relación consumo-demanda es uno de los aspectos más importantes dentro de la administración del recurso hídrico, se entiende demanda como el volumen y calidad de agua necesaria para satisfacer una necesidad y consumo como el volumen y calidad de agua que es utilizada por los usuarios para solventar dicha necesidad. Esta relación debe encontrarse en equilibrio para poder considerar una utilización equitativa del recurso. Sin embargo es difícil lograr el equilibrio dentro de esta relación, ya que la demanda no siempre es satisfecha completamente y se encuentra directamente relacionada con factores como la disponibilidad de agua en la cuenca, infraestructura y principalmente el uso irracional del recurso, entre otros factores.

5.1 Consumo y demanda de agua potable

El análisis del consumo actual de agua potable en los municipios que conforman la cuenca 64, se realizó en base a las cifras de la producción de la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) para el sector urbano y en base a la capacidad instalada de los sistemas operados por los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) de acuerdo a los registros del SIASAR administrado por el Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE) para las comunidades rurales (**fotos 19 y 20**).



Foto 19. Izquierda. Demanda abastecida por el CAPS Poneloya en León. **Foto 20.** Demanda del sector urbano abastecida con pozo de Enacal en Chinandega.

La oferta de agua potable por parte de ENACAL para las zonas urbanas de los 10 municipios que conforman la cuenca está dada exclusivamente por fuentes subterráneas. La oferta de ENACAL al 2015 fue de 48.78 MMC/A aproximadamente, para atender la demanda de 77,855 conexiones legales que representan a un total de 395,629 usuarios en las zonas urbanas dentro del área de la cuenca.

La oferta de agua potable para el sector rural en su mayoría es abastecida a través de sistemas con pozos perforados equipados en su mayoría con bombas de mecate o bombas eléctricas. Según el Fondo Social de Emergencia (FISE) al 2017 estos sistemas tenían una capacidad instalada para producir 28.23 MMC/A aproximadamente para atender 22,835 viviendas dentro del territorio de la cuenca. En la tabla 21 se indica la demanda actual real versus la demanda óptima de la cuenca. Dicha demanda será dividida en población urbana y rural en el territorio que cada municipio tiene dentro de área de la cuenca, las dotaciones óptimas utilizadas para cada tipo de población son las que estipulan las normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua de INAA (NTON 09 003-99) de acuerdo a los rangos poblacionales.

La dotación real para el sector urbano que presenta esta tabla, fue calculada en base a las cifras de producción suministrada por ENACAL en relación a la población urbana calculada al 2015 y al 2025 según los criterios de proyección del INIDE, de igual forma en el caso de los cálculos de dotación real para las zonas rurales de la cuenca, fueron hechos en base a los datos digitados en el SIASAR al 2017.

En el caso de los datos de producción de ENACAL versus la cantidad de población, generan un dato de dotación real por encima de la dotación óptima diaria que indican las normas de INAA, esta sobreestimación podría ocurrir debido a la ausencia de datos del consumo de los usuarios temporales y de tránsito en las ciudades principales de la cuenca, por ejemplo en el caso de los estudiantes universitarios, los turistas y el comercio en general que utilizan el recurso a diario en las ciudades, de lo cual no se obtuvieron registros. A esto se podría sumar los factores como: fugas en las redes no detectadas, las conexiones ilegales, el estado actual de la macromedición, entre otros.

De igual manera en la misma tabla se identificó una sobreestimación entre la dotación real y la dotación óptima en la mayoría de los sectores rurales.

Esto podría estar relacionado a los horarios de servicio y capacidad de producción que indican los registros de los diferentes tipos de sistemas en el SIASAR, los cuales en su mayoría reflejan entre 12 y 24 horas de explotación de la fuente diariamente, aumentando considerablemente el dato de dotación real sobre la dotación óptima que indica la norma de INAA para el abastecimiento del sector rural. En este caso es importante considerar

si el tiempo de explotación de las fuentes de los sistemas de mayor complejidad (MABE y MAG) están entre el rango de 12 y 24 horas al día o si son explotados por menos tiempo (posiblemente un máximo de 8 horas diarias) y el resto del día los sistemas trabajan con almacenamiento y distribución por gravedad.

En el caso de los sistemas de menor complejidad, según los registros, se observa sobreestimación de las capacidades de las fuentes al asumir que se explotan 24 horas al día. La norma de INAA para el sector rural estipula un máximo de dotación de 60 litros por persona por día, siendo este dato más razonable para calcular consumos rurales, tomando en cuenta factores como ausencia de macromedición en la mayoría de los sistemas, tipo de infraestructura, distancias de las viviendas y cultura de género para recolectar el recurso diario.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Tabla 21 Consumo de agua potable doméstica versus demanda óptima de la Cuenca 64

Municipio	Población 2015 solo de la cuenca 64 (proyección INIDE)	Dotación diaria real (Litros)	Producción ENACAL 2015 (MMC/A) *	Producción rural 2017 (MMC/A) *	Dotación diaria óptima (Litros)	Demanda óptima urbana 2015 (MMC/A) *	Demanda óptima rural 2017 (MMC/A) *	Diferencia entre demanda óptima y producción total por municipio (MMC/A) *
El Viejo (Urbano)	40,494	251	3.71		170	2.5		1.2
El Viejo (Rural solo área de la cuenca)	40,856	73		1.08	60		0.89	0.2
Chinandega (Urbano)	93,937	294	10.09		189	6.48		3.6
Chinandega (Rural solo área de la Cuenca)	24,172	47.55		0.41	60		0.53	-0.12
El Realejo (Urbano)	4,439	402	1.65		75	0.12		1.5
El Realejo (Rural solo área de la cuenca)	5,484	429		14.43	60		0.12	14.3
Corinto (Urbano)	18,065	402	1.65		132	0.87		0.8
Corinto (Rural)	173	0	0	0	0	0.00	0	0.0
Chichigalpa (Urbano)	34,143	348	4.35		170	2.12		2.2
Chichigalpa (Rural)	12,617	340		1.54	60		0.28	1.3
Posoltega (Urbano)	2,824	531	0.55		75	0.08		0.5
Posoltega (Rural solo área de la cuenca)	14,370	439		2.27	60		0.31	2.0
Telica (Urbano)	5,103	272	0.51		95	0.18		0.3
Telica (Rural solo área de la cuenca)	12,933	129		0.6	60		0.28	0.3
Quezalguaque (Urbano)	1,379	365	0.18		75	0.04		0.1
Quezalguaque (Rural)	8,230	266		0.79	60		0.18	0.6
León (Urbano)	153,713	421	23.68		189	10.60		13.1
León (Rural)	40,961	449		6.62	60		0.90	5.7
La Paz Centro (Urbano)	16,642	396	2.41		132	0.80		1.6
La Paz Centro (Rural solo área de la cuenca)	4,762	273		0.46	60		0.10	0.4
Total urbano y zonas rurales de la cuenca	535,297		48.78	28.20		23.8	3.60	

* MMC/A: millones de metros cúbicos anuales. La fuente de información para este análisis fue la producción de ENACAL del 2015 y el SIASAR del FISE a septiembre 2017. Las dotaciones para el abastecimiento urbano están dadas en litros por día y fueron asignadas de acuerdo a los rangos de población que estipulan las normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua, INAA, NTON 09 003-99. En el caso del sector rural, la dotación se estandarizó aplicando el valor más alto de 60 l/p/d que estipula INAA para este sector, debido a que son 363 sistemas de menor y mayor complejidad en la cuenca. El valor en rojo significa el déficit que existe entre la producción y la demanda óptima, que en esta cuenca solamente de identificó en el caso del sector rural de Chinandega.

5.2 Consumo del sector agroindustrial

Por las características de los suelos y el potencial hídrico de la cuenca 64, el sector agrícola posee una importante presencia en el territorio (**foto 21**). En esta cuenca se encuentran operando los dos ingenios más importantes del país, además del cultivo de musáceas (banano y plátano), por lo cual la matriz de riego representa el consumo de agua más significativo. El sector industrial registra cifras bajas de consumo en relación al sector agrícola.



Foto 21. Abastecimiento del sector agrícola, explotación de pozo con bomba de diésel en finca ubicada en El Realejo.

En las siguientes tablas se presentarán los principales usuarios identificados en los registros de concesiones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) al 2015, clasificando los usos de agua superficial y subterránea. El resumen presentado en las **tablas 22 y 23**, reflejan el mayor consumo de agua en la cuenca en el sector agrícola, con un total de 238.7 MMC/A (aprovechamiento subterráneo y superficial).

Tabla 22. Consumo anual de agua subterránea del sector agrícola concesionado al 2015

Usuario	Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	112.35
Nicaragua Comercial, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	16.06
Nicaragua Cocotera, S.A.	Uso agrícola (caña de azúcar)	12.07
Piero Darío Coen Montealegre	Uso agrícola (plátano)	3.23
Compañía Azucarera y Cafetalera el Polvón, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	2.71
Agrícola El Rosario, S.A.	Uso agrícola (riego)	2.56
Carlos Rodolfo Abauza Castellón	Uso agrícola (maní)	1.89
Inversiones Gekco, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	1.70
Carlos Reyes Vega	Uso agrícola caña de azúcar)	0.50
José Augusto Navarro Flores	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.33
Agrocomercial, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.72
Total		154.10

Estos datos de consumo-demanda fueron calculados en base a las concesiones otorgadas por ANA al año 2015, por lo que la información no es proveniente del seguimiento y control de las mismas, sin embargo la cifra es razonable debido una comparación que se realizó utilizando otro método de cálculo de la demanda de agua necesaria para el sector agrícola (ver detalle del capítulo del balance hídrico, flujo de retorno por riego), en el cual se estimó que la demanda anual de agua extraída para riego en la cuenca es de 242.2 MMC/A aproximadamente.

Tabla 23. Consumo anual de agua superficial del sector agrícola concesionado al 2015.

Usuario	Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	35.84
Monterosa, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	22.14
Compañía Azucarera y Cafetalera el Polvón, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	19.50
Nicaragua Cocotera, S.A.	Uso agrícola (caña de azúcar)	3.33
Reyes Sánchez, S.A (RESANSA)	Uso agrícola (caña de azúcar)	1.98
Guillermo Montealegre García	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.91
Nicaragua Comercial, S.A	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.22
Miguel Jerónimo Cuadra Venerio	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.19
Carlos Reyes Vega	Uso agrícola (caña de azúcar)	0.50
	Total	84.60

La cifra resultante del segundo cálculo es bastante cercana a los 238.7 MMC/A encontrado en el resumen de las concesiones al 2015, sin embargo de acuerdo a las campañas de campo para verificación hechas para el estudio de la demanda por el grupo institucional que elaboró este diagnóstico, se encontraron casos de aprovechamiento ilegal en fincas de gran magnitud (con caña de azúcar y plátano), por lo que la cifra de la demanda real a la fecha de este diagnóstico tiende a aumentar.

Para darnos una idea del crecimiento de la demanda en la cuenca, se realizó el análisis de las cifras del comportamiento de las áreas de cultivo de caña de azúcar, el cual mostró una tendencia de crecimiento de un 17%⁷, tomando como referencia el año 2011 a la fecha, (año en que se realizó el IV CENAGRO). El resultado tuvo un crecimiento efectivo de 10,252.53 hectáreas de cultivo. Esto comprueba que la demanda de agua para riego del sector agrícola (siendo la caña de azúcar el principal cultivo que requiere riego en la cuenca 64) presenta una tendencia de crecimiento.

⁷. Análisis realizado con las cifras publicadas en la página web del Comité Nacional de Productores de azúcar (CNPA).

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

En el caso de las musáceas (banano y plátano) se desconoce la tendencia o comportamiento del sector en la cuenca, sin embargo este rubro según los registros de concesiones al 2015 posee bajos alcances de legalización para aprovechar los recursos hídricos pero se observa varias empresas operando en Chinandega y El Viejo (al 2015 estaba legalizada solamente una empresa).

El resumen de las concesiones identificó que el mayor usuario legalizado al 2015 en la cuenca fue Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A con aprovechamiento de 148.19 MMC/A de agua superficial y subterránea, seguido del ingenio Monterosa, quien para este año según los registros suministrados por ANA tenía solamente legalizado el aprovechamiento de agua superficial por 22.14 MMC/A, luego se encuentra en orden de cantidades de explotación, la compañía azucarera y cafetalera El Polvón, S.A, con el aprovechamiento de 22.21 MMC/A en su mayoría de agua superficial, seguido de la empresa Nicaragua Comercial, S.A con 16.28 MMC/A en su mayoría aprovechamiento subterráneo.

En la siguiente tabla encontraremos la combinación del consumo anual de agua subterránea para el sector industrial y humano.

De las cifras de la **tabla 24** podemos deducir que el sector industrial, según el registro de concesiones de ANA, representa en la cuenca cifras de aprovechamiento bajas con respecto al sector agrícola. La combinación de consumo humano e industrial se debe a la necesidad de las empresas de instalar pozos propios para abastecer la unidad productiva y a sus recursos humanos de agua potable y el saneamiento que dichas instalaciones requieren.

Tabla 24. Consumo anual de agua subterránea del sector industrial y humano concesionado al 2015

Usuario	Tipo de uso	Extracciones anuales (MMC/A)
Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS-Poneloya)	Consumo Humano	0.39
Ministerio de Salud (MINSU), Hospital primario de Chichigalpa	Consumo Humano	0.12
Banco central de Nicaragua - Sucursal León	Consumo Humano	0.11
Alcaldía municipal de Chichigalpa	Consumo Humano	0.46
Total		1.08

La **tabla 25** contiene la demanda concesionada sobre el consumo de humano en la cuenca. Dichos registros son bajos, pero se comportan más altos que el registro industrial, cabe mencionar que se encontró la concesión del aprovechamiento solamente de dos CAPS en la cuenca, uno de ellos gestionado directamente por la alcaldía de Chichigalpa. Dado que los datos de la demanda concesionada al 2015 en agua potable son muy bajos, para calcular el consumo real en la cuenca se incluyó los datos del registro de producción de ENACAL y del SIASAR.

Tabla 25. Consumo humano anual de agua subterránea concesionado al 2015

Usuario	Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Compañía Licorera de Nicaragua, S.A.	Compañía Licorera de Nicaragua, S.A.	0.47
Camánica Zona Franca, S.A.	Camánica Zona Franca, S.A.	0.30
Yazaki de Nicaragua	Yazaki de Nicaragua	0.12
Casa Pellas, S.A.	Casa Pellas, S.A.	0.002
Cargil de Nicaragua, S.A	Consumo humano, industrial y agropecuario	0.016
Sahlman Seafoods of Nicaragua S.A.	Sahlman Seafoods of Nicaragua S.A.	0.01
Deportes Merengue, S.A.	Deportes Merengue, S.A.	0.02
Total		0.93

En las siguientes **tablas 26 y 27** se presenta el consumo total de los diferentes usos en la cuenca y por tipo de fuente:

Tabla 26: Consumo de agua subterránea en la cuenca al 2015

Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Consumo humano	76.98
Consumo humano e industrial	0.93
Consumo agrícola	154.1
	232.01

Tabla 27: Consumo de agua superficial en la cuenca al 2015

Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Consumo agrícola	84.60
Total	84.60

Solamente el sector agrícola muestra aprovechamientos del agua superficial en los registros de la ANA al 2015. Finalmente se observa en la tabla 28, que el mayor consumo en la cuenca está orientado al sector agrícola, con el 75% del consumo, luego el consumo humano representaría un poco más del 24% y el sector industrial presenta consumos registrados de menos del 1% del total en la cuenca.

Tabla 28. Consumo total (subterráneo y superficial) en la cuenca al 2015

Tipo de uso	Extracciones subterráneas anuales (MMC/A)
Consumo agrícola	238.21
Consumo humano	76.98
Consumo humano e industrial	0.93
Total	316.12

5.3 Prospección de demanda

El proceso de planificación y evaluación de la demanda es una técnica para la construcción de posibles escenarios de demanda futura de los recursos hídricos. Los escenarios son construidos básicamente por diferentes estimaciones de crecimiento poblacional, el desarrollo de la industria o la producción agrícola, de acuerdo a los tipos de uso dentro de la cuenca. Esto permite conocer los volúmenes del recurso a ser requeridos por cada rubro, para suplir sus necesidades futuras a determinado tiempo establecido según los objetivos del estudio.

En este diagnóstico se elaboró solamente la prospección de la demanda para el agua potable. La prospección de la demanda del sector agrícola en esta cuenca es muy importante dado la vocación de los suelos, sin embargo la misma no podrá ser elaborada debido a que no se dispone de los insumos de información necesarios. Por ejemplo es importante actualizar el censo agropecuario de la cuenca, el cual fue elaborado desde el 2011, para conocer las extensiones de cultivo real a la fecha y para actualizar los datos de

riego. Además se desconoce la proyección de crecimiento del sector azucarero y de musáceas al menos para el próximo quinquenio. Con el Ministerio Agropecuario (MAG) es importante conocer información actualizada del flujo de retorno por riego en la cuenca, durante este diagnóstico no se logró establecer coordinación oficial.

5.3.1 Prospección de agua potable

La prospección o proyección de la demanda futura de agua potable es una herramienta utilizada para conocer el volumen a ser requerido para consumo humano por determinado volumen poblacional en un futuro; para fines del presente estudio se ha realizado una proyección de crecimiento poblacional de la cuenca del año 2015 (año de línea base) al año 2025.

La tendencia de comportamiento de la cantidad de habitantes de la cuenca y de la demanda óptima de agua fue calculada en la tabla 29 de acuerdo a los criterios de proyección del Instituto de Estadísticas y Censos (INIDE) para 10 años (al 2025). Para calcular esta proyección de uso de agua potable también se utilizaron las dotaciones de acuerdo a la relación de los rangos de población y las normas de diseño de INAA. En el caso del sector rural, dado la variedad de los tipos de sistemas la dotación que se aplicó es el valor más alto de 60 l/p/d que estipula INAA para este sector.

Según la proyección que muestra la tabla 29, el incremento de la demanda de agua potable en la cuenca 64 al año 2025 ascenderá en 2.57 MMC, el sector urbano presenta las mayores cifras de crecimiento del volumen demandado. El crecimiento poblacional de acuerdo a los criterios de proyección de INIDE en la cuenca está previsto en 58,918 habitantes más para el 2025, lo que representa un 11% de crecimiento total en el periodo de 10 años proyectados.

A continuación se presenta **Tabla 29: Proyección de la demanda de agua hasta el año 2025.**

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Municipio	Proyección poblacional solo la cuenca 64 (2015-2025) ,	Dotación diaria óptima (litros)	Demanda óptima urbana 2015 (MMC/A)	Demanda óptima rural 2017 (MMC/A)	Demanda óptima urbana al 2025 (MMC/A)	Demanda óptima rural al 2025 2017 (MMC/A)	Diferencia entre demandas óptimas actuales y al 2025 (MMC/A)
El Viejo (Urbano)	46,024	170	2.5		2.9		0.3
El Viejo (Rural solo área de la cuenca)	46,435	60		0.9		1.0	0.0
Chinandega (Urbano)	103,144	189	6.48		7.1		0.6
Chinandega (Rural solo área de la Cuenca)	26,541	60		0.5		0.6	0.0
El Realejo (Urbano)	4,984	75	0.12		0.1		0.0
El Realejo (Rural solo área de la cuenca)	6,157	60		0.1		0.1	0.0
Corinto (Urbano)	19,819	132	0.87		1.0		0.1
Corinto (Rural)	190	0		0.0		0.0	0.0
Chichigalpa (Urbano)	35,661	170	2.12		2.2		0.1
Chichigalpa (Rural)	13,178	60		0.3		0.3	0.0
Posoltega (Urbano)	3,199	75	0.08		0.1		0.0
Posoltega (Rural solo área de la cuenca)	16,282	60		0.3		0.4	0.0
Telica (Urbano)	5,632	95	0.18		0.2		0.0
Telica (Rural solo área de la cuenca)	14,275	60		0.3		0.3	0.0
Quezalguaque (Urbano)	1,543	75	0.04		0.04		0.0
Quezalguaque (Rural)	9,205	60		0.2		0.2	0.0
León (Urbano)	17,1926	189	10.60		11.9		1.3
León (Rural)	45,815	60		0.9		1.0	0.0
La Paz Centro (Urbano)	18,819	132	0.80		0.9		0.1
La Paz Centro (Rural solo área de la cuenca)	5,386	60		0.1		0.1	0.0
Total urbano y zonas rurales de la cuenca	594,215		23.8	3.6	26.4	4.0	2.57

Actualmente el abastecimiento del sector urbano esta dado exclusivamente por fuentes subterráneas dado el potencial del acuífero. Sin embargo representa un reto para la gestión de ENACAL mantener el flujo del servicio, la calidad y la producción actual. Aparentemente con la producción actual de agua en el sector urbano podría cubrirse la demanda futura porque las dotaciones reales están por encima de las dotaciones óptimas, no obstante se requiere la revisión de estas cifras, las cuales pueden estar sobreestimadas por la influencia de factores como fugas no detectadas en las redes, las conexiones ilegales, el estado actual de la macromedición, el estado actual de las redes y equipos, entre otros

Esto sin contar con un posible crecimiento de la demanda del sector agrícola que podría generar un estrés del acuífero si no existe una planificación del uso de los recursos hídricos. La población rural presenta crecimiento en la misma proporción que el sector urbano (de 11% al 2025), pero en términos de volúmenes de agua presenta menor aceleración creciente de la demanda. Esto es porque la dotación óptima rural es menor que la urbana, dado los tipos de sistemas y las condiciones socioeconómicas de las comunidades, sin embargo debe prevalecer el interés en preservar la calidad del agua mediante acciones de protección de las fuentes, dada la vulnerabilidad observada en las comunidades en lo que respecta a la manipulación del recurso y las tareas domésticas y agropecuarias cercanas a las fuentes.

5.4 Gestión de la demanda

La gestión de la demanda comprende el conjunto de actividades que permiten reducir y limitar los requerimientos de agua de los distintos usos, mejorar la eficiencia en el uso y evitar el deterioro de los recursos hídricos, haciendo posible, a su vez, un uso satisfactorio a largo plazo del agua y una mejora de los niveles que garanticen el suministro para todos los usos.

Para la cuenca 64, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) presenta registros al 2015 con avances en el otorgamiento de concesiones para el aprovechamiento de los recursos hídricos a los ingenios con actividad en el territorio. En el caso del otro cultivo que requiere riego (musáceas), los avances han sido limitados porque a ese año solamente había concesionada una empresa, sin embargo existen varias fincas activas en el territorio.

Así mismo se desconoce el nivel de legalización que presentan los colonos o prestadores del servicio de producción de caña de azúcar los cuales venden su producción a los ingenios, estos son muy importantes de regular porque representan un 45% de la producción del total de caña que procesan los ingenios.

La regulación como una de las herramientas de la gestión de la demanda es uno de los principales puntos de partida, ya que con una regulación efectiva es posible generar mecanismos tanto legales, económicos como técnicos dentro de la cuenca para la adecuada utilización del recurso hídrico, tales como incentivos, aplicación de nuevas tecnologías y métodos para uso racional, así como seguridad jurídica de sus aprovechamientos.

En el caso del sector agrícola los datos procesados para el análisis de la demanda total provienen de los registros de concesiones y no del seguimiento o monitoreo institucional, lo cual proporcionaría un dato más confiable para este diagnóstico.

En el caso de los datos de la demanda de agua potable urbana, los datos provienen de los registros de producción de pozos de ENACAL y en el caso de la demanda del sector rural los datos provienen del SIASAR de FISE.

- De acuerdo a las cifras de producción de ENACAL al 2015, el suministro de agua potable en todos los sectores urbanos de la cuenca satisface la demanda óptima actual del recurso.
- De acuerdo a estos registros, la demanda real en las zonas urbanas dentro de la cuenca supera dos veces a la demanda óptima del sector urbano, esto podría ser posible debido a la ausencia de registro de datos del consumo comercial y turístico, además por otros factores como: fugas no detectadas en las redes, conexiones ilegales, el estado actual de la macromedición, lo que aumenta considerablemente el dato de dotación real.
- En las zonas rurales de la cuenca, la demanda real se comporta casi ocho veces por encima de la demanda óptima, lo que a simple vista resultaría como sobre abastecimiento, sin embargo esta sobreestimación podría ser debido a los horarios de servicio y capacidad de producción que indican los registros del SIASAR-FISE los que reflejan un rango considerable de explotación de la fuente de 12 a 24 horas diariamente en cada sistema, lo que podría aumentar considerablemente el dato de dotación real y en el caso de los sistemas de menor complejidad asumir que se explotan 24 horas al día sobreestima la producción.
- Al año 2015 se contabilizan en la cuenca solamente 15 grandes usuarios del sector agrícola que poseían concesión para aprovechamiento del recurso hídrico en su gran mayoría por riego de caña de azúcar, los cuales representaban el mayor aprovechamiento identificado con un total de 238.7 MMC/A (de agua subterránea y superficial), el cultivo de musáceas (plátano y banano) presentaba poco avance de legalización con tan solo el 1.35% del total del aprovechamiento concesionado a esa fecha.
- El mayor consumo en la cuenca está orientado al sector agrícola, con el 75%, el consumo humano representaría un poco más del 24% y el sector industrial presenta consumos registrados de menos del 1% del total en la cuenca, esto de un total calculado en 316.12 MMC/A al año 2015.
- En cuanto a la información del consumo agrícola, no se cuenta con datos provenientes de monitoreo o seguimiento de las concesiones otorgadas, solamente de las concesiones otorgadas.

6 Balance Hídrico

En cada ciclo del agua las ganancias y las pérdidas se equilibran, y un balance se puede expresar en:



o también⁸:

$$P = E_{tr} + E_{sc} + Fb ; \Delta i = +/- 0$$

En este capítulo se abordan algunas demostraciones prácticas que deben conocerse cuando se elabora un balance donde se debe definir y determinar los términos de entrada, salida y cambio de almacenamiento. Estos términos son muchas veces diferentes para cada tipo de acuífero.

Todos los términos varían con el tiempo, por eso las observaciones o mediciones realizadas para cada parámetro tienen que ser diarias. Después los datos diarios observados se condensan en datos mensuales, estacionales y anuales. En Hidrología se usa el año hidrológico, en Nicaragua empieza con el mes de mayo y termina con el mes de abril; por eso se escribe, por ejemplo: 2015/16. Debido a los estándares de la OMM, se necesitan al menos 30 años de observación, para poder convertir los datos medidos de una estación en datos medio mensuales, o medio anuales.

El balance hídrico es un balance del ciclo de agua completo, que incluye todos los términos del sistema "atmosfera - suelo - sub-suelo". En este balance la extracción se elimina, porque su efecto es asumido / incluido en los términos: agua del suelo, evapotranspiración y escorrentía.

⁸(P) Precipitación

(E_{tr}) Evapotranspiración

(E_{sc}) Escorrentía superficial

(Δi) Cambio de almacenamiento

6.1 Cálculo de las variables del balance hídrico

En la **figura 47** mostrada a continuación se enumeran los términos del balance hídrico de la Cuenca 64 y en los párrafos posteriores se detalla el estado actual de cada uno de estos términos dentro del área de estudio.

Figura 47. Términos del balance hídrico de la Cuenca 64

TERMINO	SIMBOLO	COMENTARIO
ENTRADA		
Precipitación	(P)	
Escorrentía superficial entrante		No hay
Flujo subterráneo entrante		No hay
SUMA DE ENTRADA	?	
SALIDA		
Evapotranspiración	(Etp)	
Escorrentía superficial saliente	(Esc)	
- Flujo base	(Fb)	Parte de (Esc)
Flujo subterráneo saliente	(Fss)	Área de Nagarote: contacto entre el acuífero y el lago de Managua
SUMA DE SALIDA	?	
CAMBIO EN ALMACENAMIENTO = SALDO	(Δi)	El cambio en almacenamiento es el saldo entre la entrada y la salida del balance. Expresa el cambio del volumen de agua superficial y subterráneo almacenado en la cuenca hidrográfica. Este cambio puede ser positivo o negativo.

6.1.1 Entrada

Precipitación (P). La precipitación es la única fuente de recarga en la cuenca 64. No hay aporte de agua superficial o subterránea desde otras cuencas vecinas. Por lo tanto equivale a 100% en la parte entrada del balance. La recarga ocasionada por la precipitación está limitada en los meses con un superávit de precipitación, (es decir cuando la precipitación es más grande que la evapotranspiración) que son generalmente los meses de la estación lluviosa.

Un análisis detallado de la precipitación en la C64 se ha realizado en el acápite 2.1.

6.1.2 Salida

Como se menciona en el párrafo de arriba, la precipitación equivale a 100% de la entrada del balance. Por razones de equilibrio los términos de la salida deben ser generalmente próximos a un valor de 100%, pero pueden también ser más grandes o más pequeños. Considerando el balance a nivel anual,

La salida puede ser más grande que la entrada, cuando un año con precipitación deficiente sigue a una serie de años con superávit de precipitación. En casos contrarios se puede producir cuando un año lluvioso sucede a una serie de años secos.

6.1.2.1 Evapotranspiración (Etr).

La evapotranspiración es el consumidor más alto de agua en el balance hídrico, consume con frecuencia entre 50 - 80 % de la oferta total de agua anual. Durante la estación seca (meses de nov - abr), la demanda de evapotranspiración es mucho más alta que la oferta de precipitación y no deja nada de agua para ser transformada en escorrentía superficial, humedad de suelo o recarga. Durante la estación lluviosa la situación se invierte y el saldo entre la precipitación y la evapotranspiración se convierte en valores positivos.

La determinación directa de la evapotranspiración es extremadamente difícil. Por eso se determina con frecuencia por cálculo, usando fórmulas (Penman, Thorntwhait, Turc etc.) o como saldo entre la entrada y la salida, cuando los demás términos del balance son conocidos y (Δi) es 0 o es asumido como nulo. En el caso de la Cuenca 64/66, la ecuación básica referente cambiaría a: $Etr = P - (Esc + Fb + Fss)$; ($\Delta i = 0$).

Para la C64 los valores medio mensuales de la evapotranspiración y de la evaporación potencial son casi idénticos durante la estación lluviosa (vea figura 12, capítulo 2). Como se explicará más adelante, es precisamente el saldo entre precipitación y evapotranspiración durante la estación lluviosa, el mayor interés para la determinación de la oferta de agua susceptible a formar escorrentía e infiltración. La evaporación potencial se ha medido en las 4 estaciones de la cuenca y por lo expuesto anteriormente se conoce implícitamente la evapotranspiración.

6.1.2.2 Agua del suelo

Es un término difícil de determinar, ya que es el primer receptor de agua cuando el balance demuestra un superávit de agua. En este parámetro se incluye toda el agua absorbida hasta un punto de saturación. Cuando el suelo se encuentra saturado y la lluvia sigue, el superávit de agua empieza a formar escorrentía superficial e infiltración profunda. No aparece en el balance, porque no es pérdida ni ganancia.

6.1.2.3 Escorrentía superficial saliente (Esc)

La escorrentía superficial se relaciona estrechamente con la precipitación, ocurre generalmente después de eventos de lluvia durante la estación lluviosa y forma flujo en los ríos; es muy variable con el tiempo y por eso requiere medición continua en estaciones instaladas. Este flujo de agua termina generalmente tres días después de finalizar un evento aislado de lluvia que le haya originado. Es una pérdida en el balance, porque se vierte en el océano.

Se detalla a continuación el análisis de la escorrentía superficial saliente (Esc) que se realizó con la información disponible. **(Ver tabla 30)**

Para el río Tamarindo se contó con un registro con 625 mediciones puntuales. La primera medición data del 11.01.1954, y la última del 22.05.1995. Las mediciones cubren un total de 211 meses y se midió en todos los meses del año. En muchas ocasiones hay más de una medición el mismo mes, pero nunca mediciones diarias continuas. La excepción es el año hidrológico 1968/69 con 365 mediciones medio diarias lo que permitió la aplicación del método de Wundt (vea más abajo acápite 6.2.2.5). Dentro del análisis se determinó que 8 series de mediciones se prestan para un análisis de recesión. Las curvas obtenidas son difíciles de evaluar y los resultados obtenidos son mucho más variables que en el ejemplo de la subcuenca del río Atoya **(ver acápite 6.2.2.5)**.

Tabla 30. Resultados del análisis de recesión en el río Tamarindo

Año	Pluviosidad**	Mes	Q_0 (m ³ /s)	Mes	Q_t (m ³ /s)	α	Q_r (MMC/A)	
1966/67	1.15	diciembre	1.73	mayo	0.69	0.3	14.99	
1968/69*	1.24	noviembre	1.24	abril	0.09	0.43	7.49	
1968/69	1.24	diciembre	0.65	marzo	0.18	0.32	5.25	
1969/70	1.08	noviembre	1.3	mayo	0.15	0.3	11.09	
1971/72	0.97	diciembre	0.49	mayo	0.18	0.17	7.73	
1981/82	1.24	noviembre	1.56	abril	0.13	0.42	9.81	
1982/83	1.23	noviembre	0.3	mayo	0.13	0.18	4.34	
1983/84	0.84	octubre	0.74	mayo	0.11	0.28	7	
Q_0 :	Caudal inicial del río al principio de la época seca al tiempo t_0							
Q_t :	Caudal del río al final de la época seca							
α :	Coeficiente de recesión							
Q_r :	Caudal de las reservas de agua subterránea							
Área de la subcuenca arriba de la estación (km ²): 205.52								
* The Water Resources of Nicaragua, Catastro y Recursos Naturales, (1970).								
** Pluviosidad de la estación de Chinandega (INETER 64018)								

El método de Lillich (1973) es un procedimiento complementario para estimar escorrentía y llegar a un balance hídrico, como el balance realizado en la Cuenca 72 (Referencia 3). También ha sido desarrollado en Alemania en áreas sin escorrentía superficial (tipo brezal arenoso) y cuando había disponibilidad de datos hidro-meteorológicos (P, Etp y Esc) sobre períodos largos, teniendo condiciones similares a las encontradas actualmente en la Cuenca 64.

La aplicación del método consiste en una comparación de la precipitación (P) y la evapotranspiración real (Etr), esta última calculada con el método de Thornthwaite. Se comparan sumas de una decena de días de (P) y (Etr), quiere decir de 10 días consecutivos (día 01 -10; día 11-20; día 21-30/31 del mes). La comparación puede resultar en un superávit o en un déficit de precipitación. En caso de déficit, se asume que toda la oferta de precipitación se convierte en evapotranspiración. En caso de superávit, el agua en exceso estará disponible para: 1) agua del suelo e infiltración y 2) escorrentía superficial. Si un periodo con déficit está seguido de un periodo con superávit de agua, se liquida primero la demanda no satisfecha de agua de la última decena de días, contra la oferta de la decena siguiente (agua del suelo). En el caso contrario, el agua excedente de la última decena está liquidada contra la demanda de la decena siguiente. El resultado de la sustracción ejecutado da el superávit de precipitación mensual disponible para luego ser transformado en escorrentía superficial e infiltración.

La ecuación básica:

$$P = Etr + Esc + Fb ; \Delta i = +/- 0$$

se transforma entonces en

$$(P - Etr) = (Esc + Fb); \Delta i = +/- 0$$

Cuando uno de los dos términos: escorrentía superficial (Esc) o flujo base (Fb) es conocido, el segundo se determina por diferencia.

Este método es una alternativa para llegar a un balance hídrico en situaciones cuando los datos de escorrentía superficial no existen. Se aplica normalmente con sumas-décadas de datos diarios, ya que no se disponía de datos diarios de precipitación y de evaporación potencial, sino solamente de medios mensuales, se tuvo que adaptar el método a la situación en Nicaragua. En la figura 48 se resume el procedimiento:

Figura 48. Modificación del método de Lillich a las condiciones en Nicaragua

- 1. Afirmación:** En el área del acuífero del Occidente / Cuenca 64 la recarga principal proviene de la precipitación (P).
No hay recarga lateral superficial o subterránea desde las cuencas vecinas;
La oferta de agua para todos los términos del balance hídrico en la Cuenca 64 está limitada por la precipitación (P);
- 2. Afirmación:** En los meses con superávit de precipitación (Mayo - Octubre) el nivel de la evaporación potencial y de la evapotranspiración son (casi) idénticos.
Se seleccionó la evaporación potencial medida, y no con la evapotranspiración calculada;
- 1. Aproximación:** No puede haber recarga de agua subterránea, si la precipitación medio mensual es menor que la evapotranspiración/evaporación potencial medio mensual. En Nicaragua esta situación ocurre frecuentemente durante la estación seca (meses de noviembre - abril).
Este postulado es correcto, pero la exactitud aumenta, si los cálculos se hacen a base diaria;
- 2. Aproximación:** En los meses con superávit de precipitación ($P - E_{tp} > 0$) la cantidad de agua disponible por (1) escorrentía superficial - (2) agua del suelo - y (3) recarga del acuífero; es igual a la diferencia entre la cantidad mensual de agua precipitado y la cantidad mensual de agua evapotranspirada.
Este postulado es correcto, pero la exactitud aumenta, si los cálculos se hacen a base diaria;
- 3. Aproximación** Para los meses con ($P - E_{tp} > 0$) la relación P versus ($P - E_{tp}$) es lineal y permite determinar - a base mensual o estacional - la suma de la cantidad de escorrentía superficial, más la cantidad de agua que se ha infiltrado para formar agua subterránea.
Esta cantidad de agua infiltrada se mide su forma de flujo base.
Si uno de los dos términos -escorrentía superficial o infiltración - es conocido, el segundo se obtiene como diferencia.

Los tres diagramas de la estación Corinto en la figura 49 visualizan el proceso y el resultado:

En los seis meses, de noviembre a abril, la evapotranspiración medio mensual consume el total de precipitación disponible. En los meses de la estación lluviosa (mayo a octubre) queda generalmente un superávit de precipitación disponible para formar escorrentía superficial e infiltración. También aparecen años secos, con meses donde la relación ($P - E_{tp}$) de la estación lluviosa es deficiente. En los cálculos estos meses se eliminan, ya que a como dice el postulado de la primera aproximación, no puede haber

recarga de agua subterránea si la precipitación es menor a la evaporación.

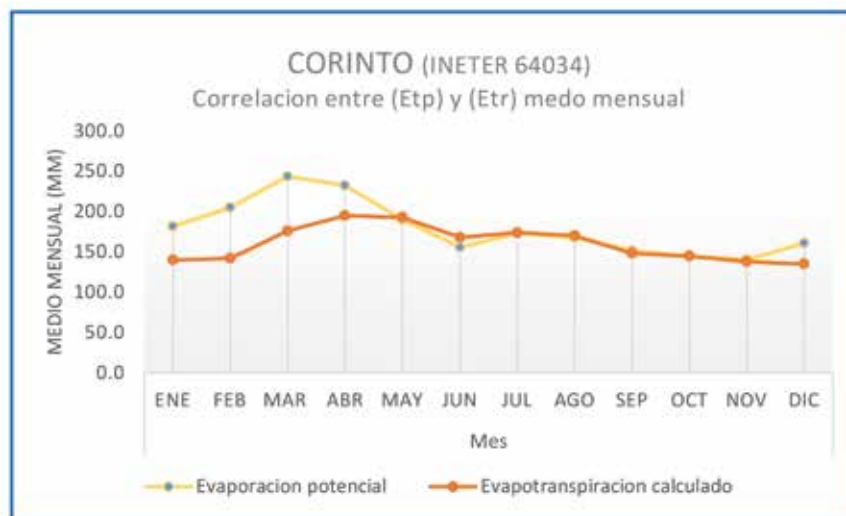
La evapotranspiración fue calculada en base a valores medio mensuales. Las mediciones de la precipitación en la estación de Corinto se extienden de 1971 hasta 2015, y los de la evaporación potencial de 1958 hasta 2015.

Figura 49. Demostración gráfica del método de Lillich



Como se mencionó anteriormente, en los cálculos se utilizó la evaporación potencial medida y no la evapotranspiración calculada, ya que los valores medios mensuales de ambos valores son casi idénticos durante la estación lluviosa, (mayo a noviembre) en todos los registros de las estaciones meteorológicas que se analizaron en Nicaragua: por ejemplo Juigalpa, Rivas, Corinto y Chinandega. En el ejemplo se propone la correlación de los valores medio mensuales de (Etp) y de (Etr) en la estación de Corinto (**figura 50**).

Figura 50. Correlación entre Evaporación potencial (Etp) y Evapotranspiración (Etr). Valores medios mensuales. (Estación de Corinto).



La evapotranspiración se calculó en base a valores medio mensuales no anuales. Sin embargo, en la aplicación del método de Lillich se necesitan datos anuales, tales como los medidos de la evaporación potencial. Además, se asume que los datos anuales de (Etp) reflejan las variaciones climáticas de la misma manera que los datos medio mensuales.

La condición para la aplicación del método es el conocimiento de la precipitación mensual y de la evaporación mensual del año hidrológico para que se pueda hacer el cálculo. Se eligen años que presentan las mediciones completas de (P) y de (Etp) y que reflejen escenarios climáticos diferentes (muy seco, seco, medio seco, medio, medio lluvioso, lluvioso, muy lluvioso). Para cada par de datos mensuales de (P) y de (Etp) del año elegido se calcula el superávit o déficit pluviométrico, tal como se demostró en la fig. 49.

Finalmente se suma la precipitación y la diferencia (P - Etp) para los meses con superávit de precipitación. El par de valores que se obtiene de (P) y (P -Etp) es introducido en un diagrama (**figura 49**).

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

En la **figura 51**, se hizo el cálculo para el año seco de 1976 y daba como resultado el par de valores de $P = 1111.6$ (mm) y $(P - Etp) = 594.9$ (mm).

Figura 51. Ejemplo de cálculo del saldo entre la precipitación y evapotranspiración (Estación de Chinandega, 1976)

ANO	1976	
Precipitación 1972	1340.0	(mm)
Precipitación med. an.	1971.4	(mm)
Pluviosidad	68.0%	
Categoría	seco	

	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
P	1976	0.0	0.0	0.0	3.5	22.7	512.0	175.2	165.2	106.1	259.2	96.3	0.0	1111.6
Etp	1976	138.4	153.4	204.4	165.5	136.6	95.6	150.6	151.4	133.3	119.1	115.0	121.9	516.7
P-Etp	1976	-138.4	-153.4	-204.4	-162.0	-113.9	416.4	24.6	13.8	-27.2	140.1	-18.7	-121.9	594.9
$\Sigma(P-Etp)$	1976						416.4	24.6	13.8		140.1			594.9

El resultado de los cálculos para las dos estaciones (Chinandega y León) es mostrado en las tablas de la figuras 52 y 53.

Figura 52. Resumen de los cálculos de parámetros climáticos (P - Etp) estacionales para la estación de Chinandega

ANO	P (MAY - NOV)	$\Sigma(P - Etp >0)$
1972	773.8	282.1
2013	1196.2	419.1
1976	1111.6	594.9
2006	1417.7	733.0
2007	1877.9	760.6
MEDIO	1950.5	970.2
2008	2396.1	1175.5
2011	2314.5	1426.1
1973	2660.9	1700.7
1979	2501.7	1919.9
2010	2977.7	2130.2
1998	3671.2	2793.4

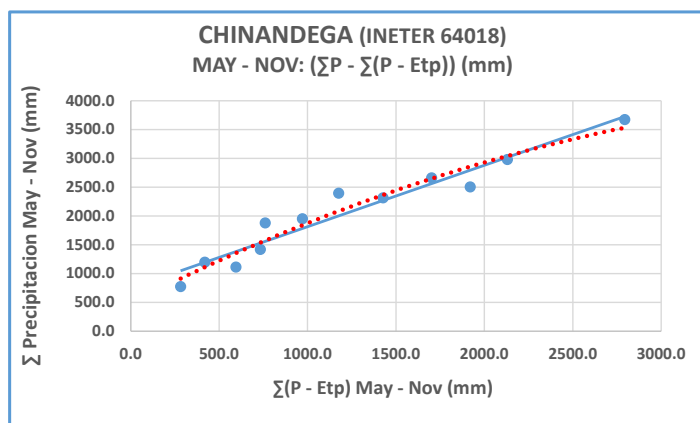
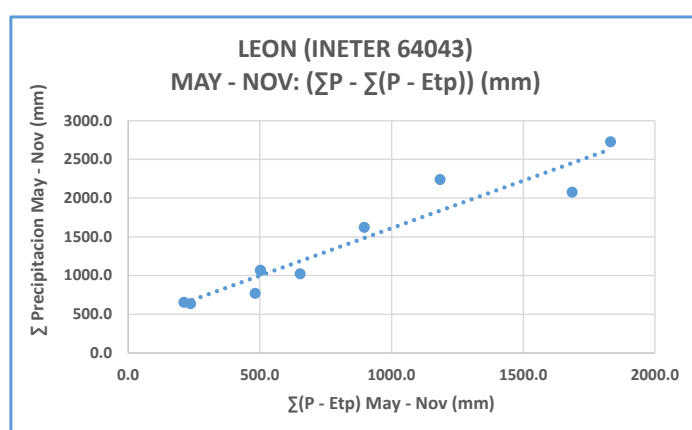


Figura 53. Resumen de cálculos de parámetros climáticos (P - Etp) temporales para la estación de León

Leon (INETER 64043)		
Ano	P (MAY - NOV)	$\Sigma(P - Etp >0)$
2004	637.2	237.2
2015	656.1	212.0
1997	770.3	482.3
2006	1024.7	652.9
2002	1067.6	502.6
2002	1067.6	502.6
2011	1623.6	896.7
1998	2079.3	1686.3
1996	2243.0	1184.6
2010	2728.5	1831.6



- Para los años seleccionados, el método proporciona la suma del superávit de la precipitación disponible para convertirse en escorrentía superficial e infiltración. En el ejemplo el método se ha aplicado a nivel estacional, pero puede aplicarse también a nivel mensual.
- El resultado obtenido para las dos estaciones muestra una buena correlación entre (P) y (P - Etp) y este resultado también evidencia en primer lugar que la magnitud de escorrentía superficial más que de la infiltración, depende principalmente de la oferta anual de precipitación.

Para llegar a un balance hídrico se debe separar la escorrentía superficial y la infiltración del agua subterránea/recarga del acuífero. En otra experiencia donde se realizó el cálculo del balance hídrico de la Cuenca 72 también se utilizó el análisis del flujo base para separar los dos términos.

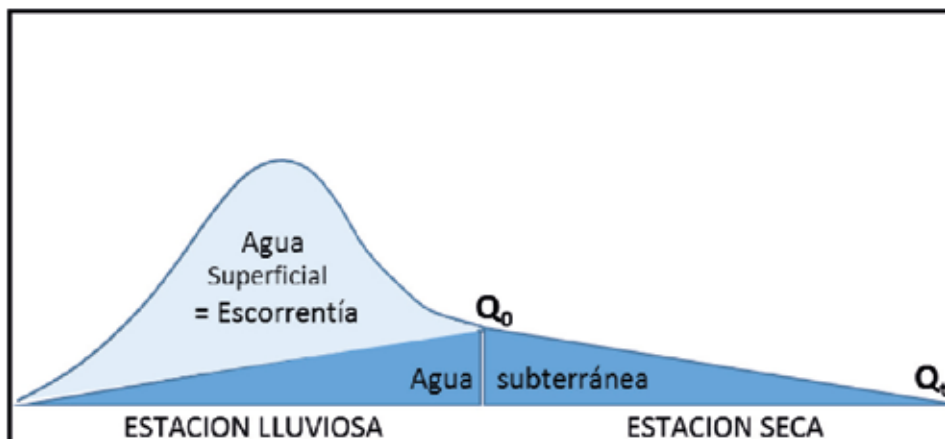
Inicialmente se emplearon los datos de lluvia distribuidos por el área de influencia de cada estación climática, quedando de la siguiente manera: la estación meteorológica de Chinandega es representativa para las tres subcuencas del río Atoya, río Tesorero y río Sucio, la estación de San Antonio para las tres subcuencas de río Sucio, río Posoltega y río Telica y la estación de León es representativa para las 4 subcuencas del río Chiquito, río Salinas Grandes, río Izapa y río Tamarindo.

En el capítulo siguiente se presenta la aplicación del mismo método en la subcuenca de río Atoya donde existen mediciones que permiten determinar el flujo base. Cabe mencionar nuevamente que el método es una aproximación para llegar a un balance hídrico en situaciones cuando los datos de escorrentía superficial no existen o son muy escasos. Aunque es sabido, sería mucho mejor establecer un balance hídrico con datos de escorrentía medidas - no calculadas.

6.1.2.4 Flujo base (Fb) .

El flujo base es parte de la escorrentía superficial, es el agua subterránea que transciende del acuífero a los ríos, cuando el agua superficial y subterránea están en comunicación. Este caso es dado en el acuífero del Occidente. El flujo base está presente durante todo el año. En la estación lluviosa forma parte de la escorrentía superficial, pero es difícil distinguirlo de ella. En la estación seca, toda el agua en los ríos es flujo base (**figura 54**).

Figura 54. Modelo del flujo base



En el acuífero del Occidente, el flujo base representa la descarga de agua subterránea al océano. Dicho de otra forma, los 9 ríos que salen de la cuenca 64 al océano, son la base de drenaje del acuífero. Si no hay interferencia por lluvia (estación seca), el flujo base disminuye lentamente de mes en mes, siguiendo una ley logarítmica. Con ayuda de esta ley se puede calcular el volumen de flujo base = agua subterránea almacenado en el acuífero a la fin de la fase de recarga = fin de la estación de lluvia.

El (Fb) fue medido en dos subcuencas: la del río Tamarindo y del río Atoya, por lo cual si se conoce la precipitación, la evapotranspiración y el flujo base y se sabe que el cambio de almacenamiento es cero, la ecuación básica queda de la siguiente forma:

$P = E_{tr} + E_{sc} + F_b;$	$(\Delta i = +/- 0),$	se transforma en:
$(P - E_{tr}) = (E_{sc} + F_b);$	$(\Delta i = +/- 0),$	otra vez en
$E_{sc} = (P - E_{tr}) - F_b;$	$(\Delta i = +/- 0)$	

Entonces se puede calcular la escorrentía y por ende también estimar el balance hídrico.

6.1.2.5 Flujo subterráneo saliente (Fss)

El flujo subterráneo saliente en el área de estudio no es representativo. La salida subterránea al océano está cerrada por una doble barrera. La primera barrera la forman las rocas impermeables de la Formación Tamarindo. La segunda barrera es el agua salada del océano. El agua dulce que el acuífero descarga no puede penetrar al agua salada porque es más pesada. Toda el agua dulce que sale de la cuenca tiene que aparecer en los ríos, mayormente en su desembocadura al océano.

Por otro lado, una intrusión de agua marina en el acuífero es posible porque la barrera rocosa está afectada por grietas y fallas, que permitirían una intrusión de agua salada más pesada, siempre y cuando la presión del agua dulce no bastará para represar una intrusión marina.

Por el momento este riesgo no es real, porque hay pocos pozos productivos, en la franja del acuífero, localizados próximos al océano.

La escasez de pozos se explica porque el acuífero se acuña en dirección al océano y las rocas de la Formación Tamarindo afloran bajo una cobertura poco espesa de sedimentos cuaternarios. Los pocos pozos construidos en esta franja se alimentan de agua de fisura y son altamente vulnerables contra una intrusión marina.

Respecto al flujo subterráneo saliente del acuífero tiene una sola salida ubicada en la Cuenca 69: en el área de Nagarote el acuífero está en contacto subterráneo con el lago de Managua. En el estudio de CATASTRO Y RECURSOS NATURALES (1970) se determinó que un volumen anual de 24 (MMC/A) circula del acuífero al lago. Este volumen representa una pérdida de aproximadamente 1% en el balance hídrico. Se puede seleccionar este volumen en el balance, hasta que estudios nuevos lo confirmen o modifiquen.

6.1.2.6 Cambio de Almacenamiento (Δi):

El cambio de almacenamiento es el Saldo entre la entrada y la salida del balance hídrico. Cuando el consumo de agua en la cuenca no excede la recarga y a largo plazo la entrada y la salida son iguales, y el saldo entre la recarga y la descarga del acuífero es nulo.

Un cambio de almacenamiento puede tener lugar, cuando la precipitación anual o plurianual se desvía marcadamente del promedio anual de largo plazo y / o la extracción de agua por fines de uso consuntivo excede la recarga anual de los recursos de agua. Si la recarga es deficiente y / o el consumo de agua excede la recarga, el volumen de escorrentía superficial saliente se reduce y el nivel estático (NEA) del acuífero disminuye. Si la recarga excede el consumo, la escorrentía superficial saliente aumenta.

El NEA aumenta si existe capacidad libre de almacenamiento en el acuífero. Para determinar el cambio de almacenamiento es necesario el estudio de los factores implicados es decir de la precipitación, de la escorrentía, del uso consuntivo y del nivel estático. El resultado de la evaluación del almacenamiento puede ser un gasto = (Δi) negativo, o un retén = (Δi) positivo en el balance hídrico. Si la recarga y el consumo se equilibra, el cambio de almacenamiento es nulo.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Cuando el cambio de almacenamiento se puede determinar y se demuestra como nulo, el balance hídrico se puede utilizar para definir un término del balance que no se ha podido medir; que generalmente es la evapotranspiración (Etp).

La figura 55 muestra el esquema que más se usa para presentar un balance hídrico. Este ejemplo muestra el cálculo en una tabla donde la parte izquierda referida a los parámetros de la oferta (divida por una franja azul), representada en el caso de la cuenca 64 por la precipitación (P). Los parámetros de salida del balance están representados por la Evapotranspiración real (Etr), la Escorrentía superficial saliente (Esc-ss), el Flujo base (Fb) y el Flujo subterráneo saliente (Fss). La sumatoria de todos los parámetros de entrada conforma el total de la entrada y la sumatoria de todos los parámetros que comprenden el total de la salida. Finalmente el saldo de ambas sumatorias es el equivalente del cambio de almacenamiento.

Figura 55. Ejemplo para el cálculo del balance hídrico

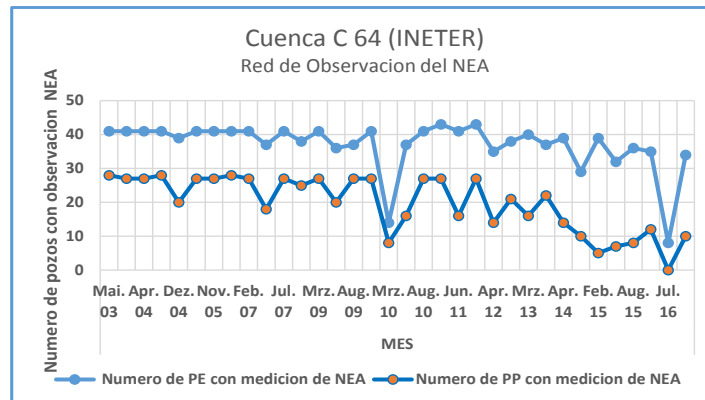
BALANCE DEL SISTEMA "ATMOSFERA - SUELO - SUB-SUELO" = BALANCE DE AGUA (SUPERFICIAL Y SUBTERRANEO) = BALANCE HIDRICO (MMC/A)								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AÑO	(P)	$\Sigma (2) = \text{Entrada}$	(Etr)	(Esc-ss)	(Fb)	(Fss)	$\Sigma (5, 6, 7, 8) = \text{Salida}$	(Δi) = Saldo = (3- 8)
1999	4,935	4,935	3,377	1,431	177	24	5,009	-74
		100.00%	68.40%	29.00%	3.60%	0.50%	101.50%	-1.50%
2016								
2017								
2018								
2019								
2020								

P: precipitación en la columna (2), una fuente de entrada por lo cual el total de la entrada de agua es la sumatoria de toda la precipitación. Sumatoria de los parámetros de entrada $\Sigma (2) = \text{Entrada}$ en columna (3). Columna (4) representa Evapotranspiración (Etr), columna (5) comprende Escorrentía superficial saliente (Esc-ss), columna (6) igual Flujo base (Fb) y Flujo subterráneo saliente (Fss) en la columna (7). Sumatoria de todos los parámetros de salida $\Sigma (5, 6, 7, 8) = \text{Salida}$ en columna (8)

El cambio de almacenamiento se ha determinado con ayuda de datos de NEA. Para el periodo entre 2007 y 2011/12 el cambio de almacenamiento fue cero. INETER proporcionó la documentación completa de la red de observación de pozos en la C64.

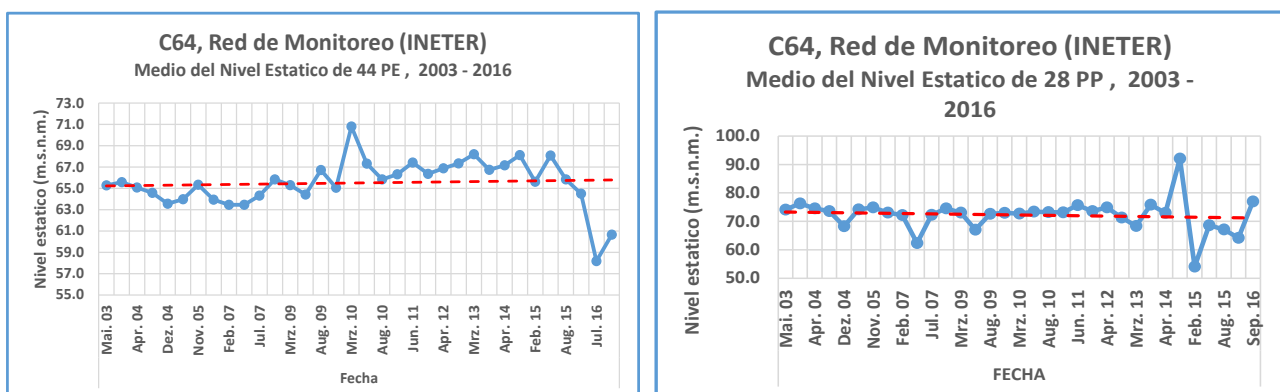
En la figura 56 de abajo se observa el comportamiento de nivel de agua subterránea a lo largo de 13 años de medición semestral (**figura 56**).

Figura 56. Número de pozos observados de la red de nivel estático de INETER



La información suministrada consiste de 38 mediciones estacionales del nivel estático en 42 pozos excavados y 28 pozos perforados. Los datos presentados fueron mezclados con información de pozos excavados y perforados. Como primer paso se ordenó la base de datos por pozos excavados (PE) y pozos perforados (PP), después se calculó el nivel estático. El tercer paso fue una verificación estadística, para cada serie de mediciones, se calculó el nivel estático medio de los 42 PE y 28 PP, y los medios se presentaban después en forma cronológica (vea figura 57). Esta verificación se realizó con el propósito de normalizar los datos y poder comprobar su calidad.

Figura 57. Media del nivel estático de pozos excavados y perforados en la C64 para el período 2003 - 2016



El resultado da una serie de puntos que se pueden conectar con una línea de compensación lineal. Los pozos excavados muestran todavía la variación pluviométrica que será analizada más adelante, mientras los pozos perforados varían poco, excepto una anomalía al fin de la serie de observación.

Generalmente hay dos y hasta tres mediciones anuales por cada pozo, una medición en la estación seca, y la otra en la estación lluviosa. La variación estacional del NEA en los pozos depende de la profundidad del pozo, (más profundo el pozo menos fuerte la variación) y de la precipitación

anual. Los registros están bien completos en la primera fase de observación (2003/04), pero durante el período final las mediciones existen vacíos considerables, de tal manera que fue complicado encontrar pozos con una serie de mediciones completas.

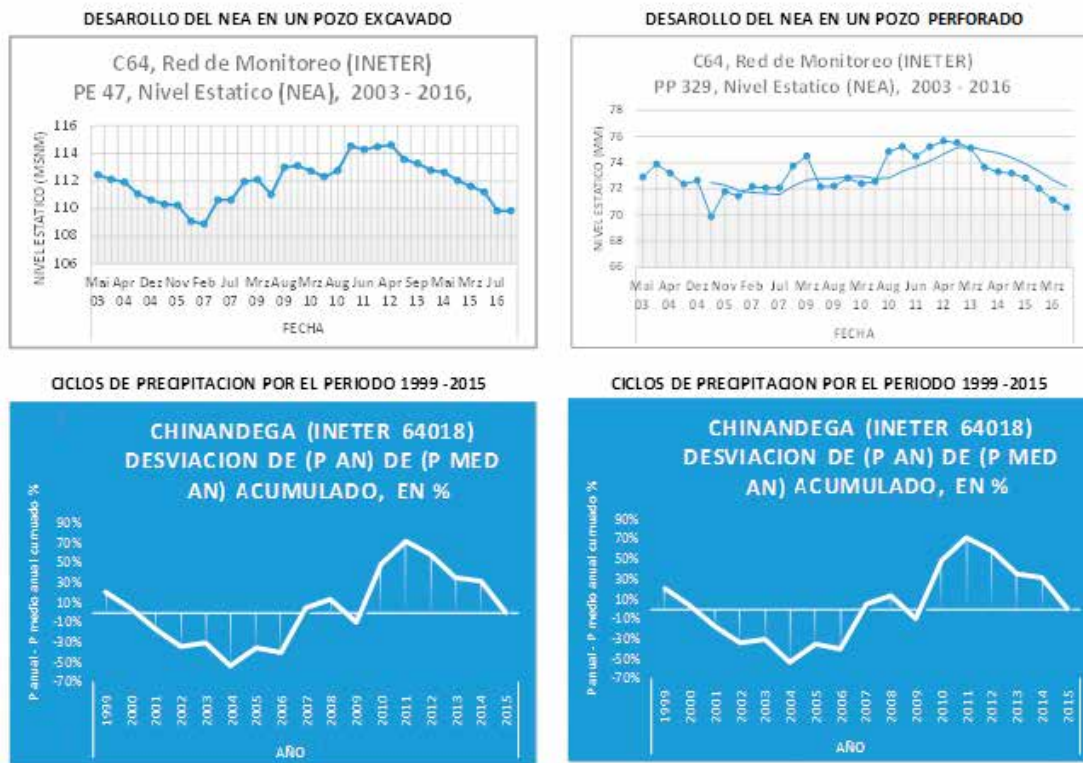
El cuarto paso fue la selección de (PE) y (PP) con las series más completas de mediciones. De esta manera cuatro PE y PP fueron seleccionados y se elaboraron gráficas de NEA versus tiempo (**figura 58**).

Todas las curvas de variación NEA versus tiempo demostraron la misma tendencia. En una primera fase los niveles descienden, con el punto más bajo coincide en los años 2005-2007. De ahí los niveles se recuperan y superan los niveles iniciales durante los años 2011-2013. De 2013 hacia septiembre 2016 los niveles descienden otra vez.

La hipótesis de esta variación característica del NEA es evidente en todos los pozos evaluados, la cual indica un efecto de variación en la oferta de agua, es decir en la precipitación anual. Como quinto paso se elaboró un diagrama con la desviación de la precipitación anual respecto a la precipitación medio anual para el período entre 1999-2015, usando la precipitación anual de la estación de Chinandega (**vea figura 57**).

Al comparar la figura 58.1 (superior izquierda) y especialmente a la gráfica 58.3 (inferior izquierda) que presenta los ciclos de precipitación, se nota que un ciclo lluvioso culminó en 2011, seguido por un ciclo con precipitación anual escaso que se extiende hasta 2015.

Figura 58. Desarrollo del nivel estático en el acuífero del Occidente para el periodo 2003 y 2016 y su comparación con ciclos de precipitación de la estación meteorológica de Chinandega



Los pozos de la red de observación de INETER se encuentran bien distribuidos sobre toda el área del acuífero del Occidente y se observa a simple vista que el nivel estático y los ciclos lluviosos siguen la misma tendencia. La coincidencia es más nítida en los pozos excavados localizados en el piso superior del acuífero, porque están expuestos directamente al déficit o superávit de precipitación y por defecto de la recarga anual y plurianual que en el piso inferior que se encuentra siendo explotado por los pozos perforados.

En ambos pisos del acuífero, los pozos alcanzan niveles mínimos en los años 2004/05, que corresponde con el fin de un periodo con precipitación anual deficiente. Los pozos se recuperan y sobrepasan los niveles iniciales del año 2003 en el ciclo lluvioso que culmina en el año 2011/12. De ahí hasta 2016 la tendencia de los niveles es otra vez al descenso. Todos los pozos excavados y los pocos pozos perforados con registros completos siguen la misma tendencia.

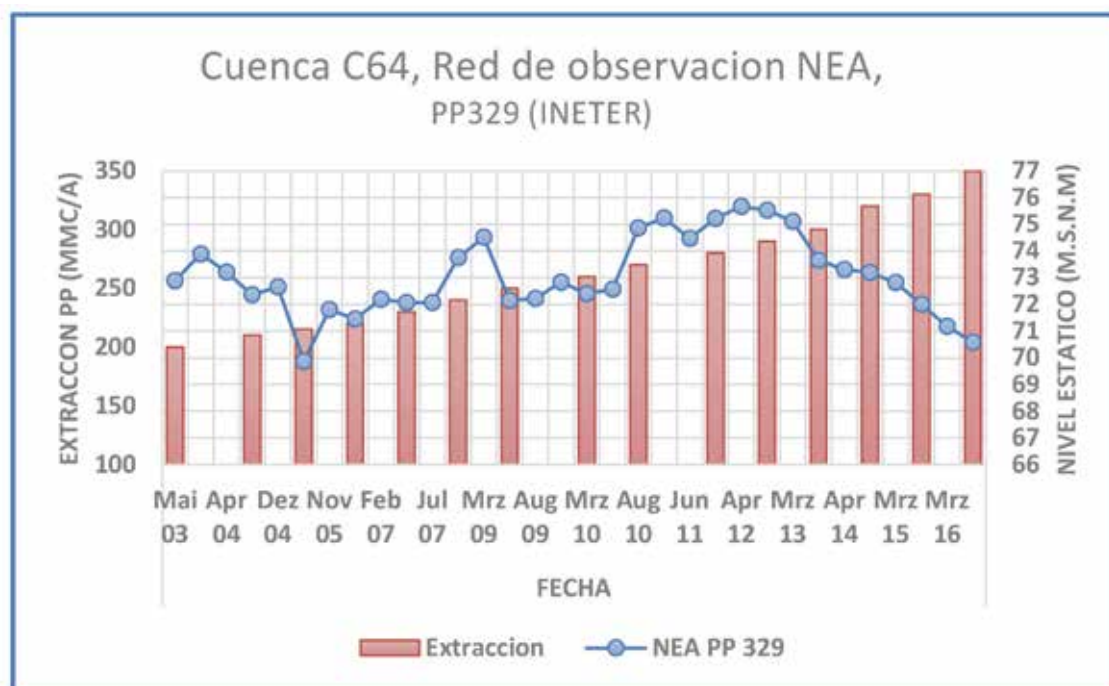
- Se puede entonces concluir que la facultad del acuífero de recuperarse y superar periodos con niveles estáticos bajos durante la fase de observación 2003 - 2011/12 es un claro indicador que la extracción anual todavía no era más grande que la recarga/descarga plurianual, es decir que el acuífero aún estaba en equilibrio.

Esta afirmación también puede comprobarse al observar la **figura 57**, donde la media del NEA de los pozos de la red de observación forma una línea horizontal. Esta gráfica es una prueba de que el acuífero se encontraba en estado de equilibrio para ese período. Esta afirmación es concordante con la hipótesis de que el término "cambio de almacenamiento" de la Cuenca 64 y del acuífero para el periodo 2003-2016 era próximo a cero. Con esta observación, se ha determinado un término de importancia en los balances de agua.

Sin embargo, se debe recordar que en el análisis falta un elemento muy importante, que es la extracción. Específicamente, la extracción privada de los pozos perforados y contrariamente como ya se ha mencionado la extracción del flujo base en los ríos no tiene efecto sobre el desarrollo del NEA. Esta agua ya salió del acuífero y su extracción no repercute en los niveles.

Para demostrar el efecto que puede tener la extracción sobre el NEA, se realizó una gráfica con un ejemplo simulado del desarrollo del NEA conforme la evolución de la extracción (**figura 59**). Se asumió que la extracción subió regularmente hasta alcanzar en 2015 un volumen anual extraído de 325 (MMC/A) y en 2016, 350 (MMC/A). En el ejemplo el acuífero se quedó en equilibrio hasta el año 2012, correspondiendo con una extracción de 275 (MMC/A). De ahí en adelante el equilibrio se rompió, el consumo sobrepasa la recarga y el NEA marca una tendencia claramente descendente.

Figura 59. Desarrollo del NEA anual versus extracción anual en la C64



- En conclusión, todavía es necesaria mayor información para confirmar si el descenso del NEA entre 2011 y 2016 fue provocado por un efecto de oferta de agua escasa o un efecto de alto consumo o por ambos efectos. Es necesario seguir controlando el desarrollo del NEA en la C64 y evaluar al mismo tiempo el volumen de extracción por pozo perforado.

6.2 Balance de agua subterránea

El balance hídrico, descrito en los items anteriores, incluyó todos los términos del sistema "atmósfera - suelo - sub-suelo".

Para realizar solamente un balance de las aguas subterráneas, se debe limitar al sistema: "suelo - sub-suelo". En este balance la evapotranspiración se elimina. El agua subterránea en las cuencas 64-66-69 está almacenada en un acuífero poderoso que se llama "acuífero del Occidente". Todo lo referido a continuación es acerca de este acuífero (figura 60).

Figura 60. Términos del balance del agua subterránea

TERMINO	SIMBOLO	COMENTARIO
ENTRADA		
Recarga por infiltración de lluvia	R_p	
Recarga por escorrentía superficial entrante	(Esc-se)	Aporte de agua superficial desde el área no acuífero en la Cuenca 66
Recarga por flujo subterráneo entrante		No hay
Recarga por flujo de retorno comunal e industrial	(Fdr-c,i)	Insignificante
Recarga por flujo de retorno agropecuario	(Fdr-a)	20 -30 % del consumo (estimado)
SUMA DE ENTRADA	?	
SALIDA		
Extracción por toma de río	(Ex río)	
Extracción por pozo	(Ex pozo)	
Flujo subterráneo saliente	(Fss)	Cuenca 66, Nagarote área: contacto entre el acuífero y el lago de Managua
Escorrentía superficial saliente en forma de flujo base	(Fb)	Ríos: Atoya, Tesorero, Sucio, Posoltega, Telica, Chiquito, Salinas Grande, Izapa y Tamarindo
SUMA DE SALIDA	?	
CAMBIO EN ALMACENAMIENTO = SALDO	(?i)	El cambio en el almacenamiento es el saldo entre la entrada y la salida del balance. Expresa el cambio del volumen de agua subterránea almacenada en el acuífero a nivel anual. Este cambio puede ser positivo o negativo.

6.2.1 Entrada

6.2.1.1 Recarga por infiltración de lluvia (Rp).

La precipitación es la fuente de recarga principal del acuífero del Occidente. En la estación lluviosa el superávit de precipitación se transforma en (1) agua del suelo; (2) escorrentía superficial y (3) agua subterránea. El mecanismo de esta transformación se explica con más detalle a continuación:

Hay muchos métodos para determinar la recarga. MAGFOR/ INETER (1999) aplicó dos métodos diferentes: la determinación de la infiltración directa por ensayos de infiltración (1) que resultó en un valor de recarga anual muy alta de 1,329 (MMC/A) y con el segundo método aplicado a la ley de Darcy (2) se determinó el volumen que transita a través el acuífero. En este método se utilizaron resultados de pruebas de bombeo y gradientes hidráulicos del mapa de piezometría y dio una recarga de 311 (MMC/A).

El método (1) es un método puntual, que tiene que tener en cuenta un sinnúmero de atributos relativos al suelo: tipo de suelo, cobertura, pendiente, exposición, profundidad de raíces, capacidad capilar, humedad residual y muchos otros parámetros que cambian de un punto de medición al otro. El método es muy utilizado en Nicaragua y la mayoría de las veces resulta en recarga sobre-valorada, ya que depende de muchas superposiciones de todos los atributos.

El método (2) es un método integral, que mide el flujo de agua subterránea - ya infiltrada - a través del acuífero y se calcula con el gradiente y la conductividad hidráulica. La conductividad es un factor variable, pero un sólo factor. Cuando se ejecutan pruebas de bombeo, la variabilidad de la conductividad se puede delimitar, por lo cual el método (2) es mucho más preciso que el método (1).

6.2.1.2 Recarga por escorrentía superficial entrante (Esc-se):

Como se mencionó anteriormente no hay aporte de agua superficial desde otras cuencas, y en consecuencia este término en el balance hídrico no existe. Sin embargo, dentro de la cuenca hidrográfica existen áreas formadas por rocas impermeables que no son unidades que conforman el acuífero. La escorrentía que se forma sobre estas áreas y transitan hacia el acuífero tienen que ser tratadas como "escorrentía superficial entrante" porque pueden formar fuente de infiltración hacia el acuífero.

En este caso existe al límite noroeste de la Cuenca 64, en el área del ingenio Monte Rosa, y al límite sureste de la Cuenca 66, en el área del río

Tamarindo. En la investigación de CATASTRO Y RECURSOS NATURALES (1970) determinó que un volumen anual de 50 (MMC/A) de escorrentía superficial se dirige hacia los ríos y acuíferos de la Cuenca 66¹⁰. Se propone mantener esta cifra en el balance, hasta que estudios nuevos lo confirmen o modifiquen.

6.2.1.3 Recarga por flujo de retorno comunal e industrial (Fr-ci):

Se estima que 80 % del consumo por fines de suministro de agua potable, comercial e industrial regresa al ciclo hídrico en forma de efluente. La proporción de este efluente que se infiltra al agua subterránea es (afortunadamente) insignificante. Este término se puede excluir en el balance de agua subterránea. En la Cuenca 64 el efecto desastroso de la inyección de agua servida no depurada se puede observar en los ríos Atoya (agua servida de Chinandega) y Chiquito (agua servida de León).

6.2.1.4 Recarga por flujo de retorno agropecuario (Fr-a):

La importancia del flujo de retorno agropecuario depende: (1) del tipo de riego: (gravedad, aspersión, goteo), (2) del tipo de cultivo (en la Cuenca 64 prevalecen caña y musáceas); (3) de la superficie bajo riego (350 km² de la cuenca están bajo riego); (4) del clima que es marcadamente diferente en las dos estaciones anuales.

Para realizar la estimación del flujo de retorno por riego se contempló inicialmente la realización de mediciones directas en unidades productivas (fincas o granjas, empresas e ingenios azucareros), de los caudales utilizados para irrigar los diferentes cultivos, durante una campaña de riego o ciclo productivo.

De esta manera se pretendía obtener datos unitarios de los volúmenes de agua utilizados en cada unidad productiva para cada uno de los cultivos irrigados y por cada sistema de riego. Sin embargo, se dificultó el acceso a las propiedades previstas para realizar las mediciones por lo cual se decidió realizar la estimación de la demanda total de agua para riego, utilizando el método convencional de cálculo, formulado por FAO¹¹ y haciendo uso de los datos sobre superficies irrigadas y sistemas de riego, proporcionados por el IV CENAGRO.

Como base inicial del inventario municipal de áreas bajo riego, se obtuvieron reportes del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) en el año 2011. A partir de la información obtenida del IV CENAGRO, se logró determinar que en los departamentos de Chinandega y León habría unas 40,098 hectáreas bajo riego. De ellas 34,187 estarían situadas en los 10 municipios que forman parte de la cuenca 64 (**Tabla 31**).

Tabla 31. Superficie bajo riego en la Cuenca 64.

Municipio	Superficie bajo Riego (Hectáreas), según sistema utilizado					
	Gravedad	Goteo	Aspersión	Manualmente (Regadera, manguera, etc.)	Otro	
<i>Chinandega</i> (Departamento)	10,256.28	1,463.60	14,937.81	128.74	4,085.41	30,871.85
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	9,736.23	1,439.40	14,488.28	43.75	4,085.24	29,792.90
Chichigalpa	9,164.37	1,291.42	3,404.65	1.06	4,084.18	17,945.67
Chinandega (Municipio)	63.27	59.54	1,252.07	27.99	0.71	1,403.57
Corinto	-	-	0.71	2.47	0.35	3.53
El Realejo	223.55	11.63	1,282.28	7.05	-	1,524.51
El Viejo	176.43	67.74	8,501.33	5.01	-	8,750.51
Posoltega	108.61	9.07	47.25	0.18	-	165.11
<i>León</i> (Departamento)	5,219.79	286.01	3,027.81	60.65	632.13	9,226.38
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	1,608.00	165.46	2,436.86	36.11	147.53	4,393.96
La Paz Centro	698.15	82.28	1,106.35	8.11	104.34	1,999.22
León (Municipio)	899.60	43.27	1,202.90	20.92	43.18	2,209.87
Quezalguaque	4.79	26.81	88.30	0.49	-	120.40
Telica	5.46	13.10	39.30	6.59	-	64.46
<i>Chinandega y León</i>	15,476	1,750	17,966	189	4,718	40,098
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	11,344	1,605	16,925	80	4,233	34,187

Fuente: IV CENAGRO, INIDE, 2011.

En base a las proporciones de las superficies cultivadas por municipio (con riego o sin él se estima que de las 29,792.90 ha bajo riego en los municipios que forman parte de la cuenca, en el departamento de Chinandega, aproximadamente un 4.4% corresponderían a musáceas y un 95.6% de caña de azúcar (**Tabla 32**). En el departamento de León, de las 4,393.96 ha bajo riego, 15% equivaldrían a musáceas y 85% a caña de azúcar.

Así los datos obtenidos (5.1% para musáceas y 94.9% para caña de azúcar), se aproximan mucho, a la superficie bajo riego citada por (MARENA, 2010) donde se mencionan 37,140 ha bajo riego, de las cuales 2,360 (6.4%) corresponden a musáceas y 34,780 (93.6%) a caña de azúcar.

Por lo tanto, para estimar la demanda de agua, se decidió calcular la proporción de musáceas y caña de azúcar comprendidas dentro de la cuenca, sobre la extensión total de ambos cultivos en cada municipio (**tabla 32**). Para aplicar luego éste factor a las áreas de riego reportadas en la **tabla 31** y obtener así una aproximación de la superficie irrigada de cada cultivo

por municipio, asumiendo que estos dos son los que principalmente demandan agua para su desarrollo.

Tabla 32. Superficie de musáceas y caña de azúcar (con riego y sin riego) cultivadas en la Cuenca 64.

Municipio	Cultivos (Con riego y sin riego)				Total
	Musáceas		Caña de Azúcar		
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	
Departamento de Chinandega ¹	2,102.98	4.4%	45,649.93	95.6%	47,752.91
Chichigalpa	103.03	0.4%	25,804.26	99.6%	25,907.29
Chinandega (Municipio)	543.88	25.6%	1,584.43	74.4%	2,128.31
Corinto	-		-		-
El Realejo	807.49	31.1%	1,785.99	68.9%	2,593.48
El Viejo	594.62	3.7%	15,689.97	96.3%	16,284.59
Posoltega	53.96	6.4%	785.27	93.6%	839.23
Departamento de León ²	498.88	15.0%	2,836.58	85.0%	3,335.46
La Paz Centro	103.03	13.2%	679.22	86.8%	782.25
León (Municipio)	316.55	17.5%	1,496.58	82.5%	1,813.13
Quezalguaque	21.64	3.6%	587.81	96.4%	609.45
Telica	57.66	44.1%	72.97	55.9%	130.63
Gran Total	2,601.86	5.1%	48,486.51	94.9%	51,088.37

Fuente: IV CENAGRO, INIDE. MAGFOR, 2013.

Según las áreas irrigadas, reportadas en la tabla 31 y a las superficies de cultivo estimadas, mediante las proporciones obtenidas de la tabla 32, se estima que la demanda anual de agua extraída para riego en la cuenca 64, es de unos 242.2 MMC/A (**tabla 33**).

Tabla 33. Demanda, consumo efectivo y extracción no consumida, de agua para riego estimada para la Cuenca 64.

Departamento / Municipio	Demanda estimada de agua para riego (MMC/A) según sistema utilizado y factores de eficiencia (Total)		
	Demanda Anual	Consumo efectivo	Extracción no consumida
Chinandega (Departamento)			
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	206.24	142.62	63.62
Chichigalpa	130.34	83.29	47.04
Chinandega (Municipio)	8.7	6.83	1.87
Corinto	-	-	-
El Realejo	9.85	7.29	2.56
El Viejo	56.08	44.46	11.62
Posoltega	1.27	0.75	0.52
León (Departamento)			
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	36.01	23.42	12.59
La Paz Centro	16.27	10.69	5.58
León (Municipio)	18.52	11.76	6.76
Quezalguaque	0.8	0.64	0.16
Telica	0.42	0.33	0.09
Chinandega y León			
Solamente Municipios en la Cuenca 64:	242.2	166	76.2

El cálculo se realizó, atendiendo los Requerimientos de riego ($R_r = E_{Tc} - P$) para cada cultivo (musáceas y caña de azúcar), considerando las necesidades de agua de cada cultivo (E_{Tc}), y el aporte que hacen las precipitaciones (P). Los cálculos para cada cultivo se obtuvieron separadamente por departamento, donde resultó que las necesidades de agua para riego, son mayores en León, que en Chinandega (**Tabla 34**), debido principalmente a que los patrones mensuales de Precipitación (P) y de Evapotranspiración (E_{Tr}) difieren entre un departamento y otro (**Tablas 36 y 37**). Los datos agrometeorológicos de cada departamento, se obtuvieron de las estaciones del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Tomando como ejemplo nuevamente a Chichigalpa, se valoró que un total de 5,134.2 m³/ha de agua son necesarios para el riego de musáceas y 4,169.1 m³/ha para caña de azúcar.

Tabla 34. Requerimientos de riego (Rr)

Requerimiento de riego (mm) Rr= ETC - P para el departamento de Chinandega													
Musáceas													
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	m³/Ha
110.06	70.78	92.15	109.95	-	-	-14.45	-77.82	-296.78	-362.01	28.35	102.13	513.42	5,134.2
				97.34	158.46								
Caña de Azúcar													
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	m³/Ha
- 1.14	58.88	98.15	179.25	-15.74	-	12.65	-46.92	-246.83	-303.16	25.95	43.18	416.91	4,169.1
					111.71								
Requerimiento de riego (mm) Rr= ETC - P para el Departamento de León													
Musáceas													
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	m³/Ha
108.91	71.14	102.70	117.03	-85.91	-69.62	71.48	-9.43	-300.18	-210.71	10.71	111.60	584.13	5,841.3
Caña de Azúcar													
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	m³/Ha
- 2.29	59.24	108.70	186.33	-4.31	-22.87	98.58	21.47	-250.23	-151.86	8.31	52.65	530.96	5,309.6
Un milímetro cúbico de agua, equivale a 10 metros cúbicos por hectárea.													

La Evapotranspiración del cultivo (ETc= ETr * Kc) ha sido calculada (Tabla 35) en base a la Evapotranspiración de referencia (ETr) determinada por INETER (Tabla 37) y el Coeficiente de cada cultivo (Kc) propuesto por FAO (2006) que consiste en utilizar un coeficiente de necesidades hídricas (Kc) y multiplicarlo por la Evapotranspiración, en nuestro caso, la calculada (ETr) por INETER (Tabla 38).

Tabla 35. Evapotranspiración del cultivo (ETC)

Evapotranspiración del cultivo (mm)												
ETc= ETr * Kc												
Musáceas												
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
111.20	71.50	105.60	133.70	152.15	152.00	180.40	171.60	118.80	102.40	100.00	117.00	1,516.35
Caña de Azúcar												
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
-	59.60	111.60	203.00	233.75	198.75	207.50	202.50	168.75	161.25	97.60	58.05	1,702.35

ETc= ETr * Kc

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo

ETr= Evapotranspiración de referencia (Calculada por INETER, en base a datos agro meteorológicos).

Kc= Coeficiente de cultivo, propuesto por FAO, en base a los requerimientos de cada cultivo, en condiciones estándar y diferenciados por cada fase de desarrollo.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Tabla 36. Precipitación media mensual de las estaciones Chinandega y León

Precipitación de la estación Chinandega (código: 64018, tipo HMP) (mm) (P) ¹ periodo 1997 - 2015												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1.1	0.7	13.4	23.8	249.5	310.5	194.9	249.4	416	464.4	71.7	15	2009.9
Precipitación de la estación Aeropuerto Godoy, León ² (Código: 64043, tipo HMP) (mm) periodo 1974-1999												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2.3	0.4	2.9	16.7	238.1	221.6	108.9	181	419	313.1	89.3	5.4	1598.7
¹ Calculado por INETER 2015. Resumen Meteorológico Anual 1997 - 2015.												
² Calculado por INETER 2015. Resumen Meteorológico Anual 1974 - 1999.												

Tabla 37. Evapotranspiración media mensual, calculada por INETER (ETr)

Evapotranspiración media mensual de la estación Chinandega (código 64018) (mm) periodo 2000-2014												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
139	143	176	191	179	152	164	156	132	128	125	130	1,815 .00
Evapotranspiración media mensual de la estación												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
143	149	186	203	187	159	166	162	135	129	122	129	1,870 .00

Tabla 38. Coeficientes de cultivo (Kc)

Musáceas												
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
0.80	0.50	0.60	0.70	0.85	1.00	1.10	1.10	0.90	0.80	0.80	0.90	
Caña de Azúcar												
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
-	0.40	0.60	1.00	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	0.80	0.45	
Tomado de: Crop Water Information- Water Development and Management Unit - FAO. 2015.												
http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_banana.html												
http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sugarcane.html												

- Los Requerimientos de riego (Rr) para el cultivo de musáceas en el departamento de Chinandega, se valoran en unos 5,134.2 m³/ha y para la caña de azúcar en 4,169.1 m³/ha. De la misma manera, en el departamento de León, se calculan unos 5,841.3 m³/ha para el cultivo de Musáceas y 5,309.6 m³/ha para caña de azúcar.
- Se estima que debido a las pérdidas por conducción, distribución y aplicación del riego en las parcelas, los sistemas de gravedad podrían tener un factor de eficiencia cercano a 0.5, así como el de goteo 0.9; aspersión 0.8; y 0.85 para otros sistemas, incluyendo el riego manual (con regaderas, mangueras y otros).
- En base a la demanda anual de agua estimada y considerando las pérdidas derivadas de la eficiencia de operación de cada sistema de riego (extracción no consumida), se asume que solamente 166 MMC/A (68.54%) estarían siendo aprovechados por éstos cultivos (Consumo Efectivo).
- Los restantes 76.2 MMC/A (31.46%) equivaldrían al Flujo de Retorno por Riego, es decir, el volumen de agua extraído pero que no es aprovechado por los procesos funcionales del cultivo y que por lo tanto, estarían retornando al acuífero cada año (Tabla 33). Es probable que el volumen real extraído sea más grande, porque los agricultores tienen tendencia a regar en exceso sus cultivos.

6.2.2 Salida

6.2.2.1 Extracción por toma en ríos (Ex -río):

La extracción de agua superficial por toma en ríos es el método tradicional preferido de los productores agropecuarios en la C64, porque es más barato que perforar y explotar un pozo. El uso de los ríos es limitado por falta de agua durante las sequías, pero todos los productores que tienen terrenos próximos a los ríos los utilizan hasta hoy en día para dichos fines.

La toma opera por medio de un embalse de derivación o por bombas de succión. En la gira de campo ejecutada en noviembre 2016 se confirmó que en la parte baja de la cuenca, a partir de la cuota 40 (m.s.n.m.) hasta el borde del océano, el riego se hace mayormente con agua superficial extraída de los ríos. El tipo de riego que se hace con esta fuente de agua es por gravedad. En esta zona el acuífero ya está muy reducido y los pozos perforados salen poco productivos.

Asimismo el uso del agua superficial no está muy registrado en las fincas. La determinación correcta del volumen de agua superficial extraída en la cuenca es un rompecabezas para el personal técnico de las instituciones competentes. El asunto se complica aún más, porque el agua extraída de los ríos presenta una mezcla entre agua superficial saliente, que no es término en el balance de agua subterránea, y el agua del flujo base, que si lo es. Esto debido a que no se riega cuando llueve y el riego con agua de río se usa mayormente cuando el suelo se está secando. Se propone que la solución más conveniente a esta situación es considerar que toda el agua superficial extraída para fines de riego, es flujo base.

La extracción de agua superficial (Ex-río) en la Cuenca 64/66 todavía no ha sido determinada con la precisión necesaria al instante de la redacción de este informe.

6.2.2.3 Extracción por pozo (Ex - pozo):

MAGFOR /INETER (1999), inventariaron 561 pozos perforados (PP) con una extracción anual de 237.4 (MMC/A), y más de 471 pozos excavados (PE), con una extracción de +/- 3 (MMC/A). Se estima que para esta época el número total de (PP) ya sobrepasó los 1000, para 1999 la extracción por (PE) representaba un poco más del 1% de la extracción por (PP). Por eso se recomienda solamente controlar la extracción de los últimos y estimar la contribución de los primeros con 1% máximo.

El control de la extracción agropecuaria para pozos perforados es complicado, por la gran cantidad de pozos perforados y su distribución sobre una superficie de 2,400 km², así como el hecho de que la mayoría de los pozos

pertenecen a terratenientes privados y que los últimos no siempre tienen disposición a cooperar con los observadores.

6.2.2.3 Extracción total en la cuenca:

El conocimiento de la extracción de un acuífero (Ex-río y Ex-pozo) es una obligación y una necesidad indispensable para llegar a un balance de agua subterránea. En el caso de la C64 las mediciones tienen que hacerse por sub-cuenca, y de esta manera poder considerar la extracción junto con el flujo subterráneo saliente (Fb). Además tiene que hacerse estacionalmente y cada año. La extracción durante la estación seca tiene que ser mucho más alta que durante la estación lluviosa.

Tampoco se pueden utilizar los volúmenes de las concesiones otorgados por ANA como dato de referencia para la extracción privada, ya que el volumen otorgado puede ser explotado en cantidades mucho más altas que las asignadas. Para poder determinar la demanda es necesario realizar un seguimiento a las concesiones y así controlar que la cantidad de agua otorgada es la que realmente se está extrayendo.

Para poder conocer los datos de extracción de la importancia económica del acuífero de Occidente es necesario que toda la información de extracción esté accesible a la administración pública del sector hídrico. Los datos de extracción del ingenio San Antonio fueron puestos a la disposición para la determinación de la demanda, pero solamente para el año 2015. Este tipo de información es clave para su manejo por ejemplo la otorgación de concesiones y la gestión de los recursos.

La información sobre la extracción es muy escasa, los cálculos realizados en base al censo ejecutado por INIDE (2011) indican un volumen de extracción por fines agropecuario de 242 (MMC/A) (ver acápite 6.2.1.4). En 2015 la extracción por río y pozo en el ingenio San Antonio ascendía a 124.4 (MMC/A).

La extracción para fines de aprovechamiento de agua potable y uso industrial de ENACAL y FISE ascendía a 81 (MMC/A) en 2015.

La extracción privada total del año 2015 en la C64 no pudo ser determinada, ya que la mayoría de las extracciones privadas no cuentan con medidores de caudal que puedan determinar con exactitud la cantidad de agua extraída. Con la aproximación para el año 2011 sobre la extracción agropecuaria, la extracción importante reportada por el ingenio San Antonio en 2015 y la extracción para fines de aprovechamiento de agua potable e industrial del año 2015, se definió una extracción total actual en la C64 es de 317.2 (MMC/A).

Flujo subterráneo saliente (Fs-s):

Es válido lo referido en el acápite 6.1.2.5. Es importante volver a señalar

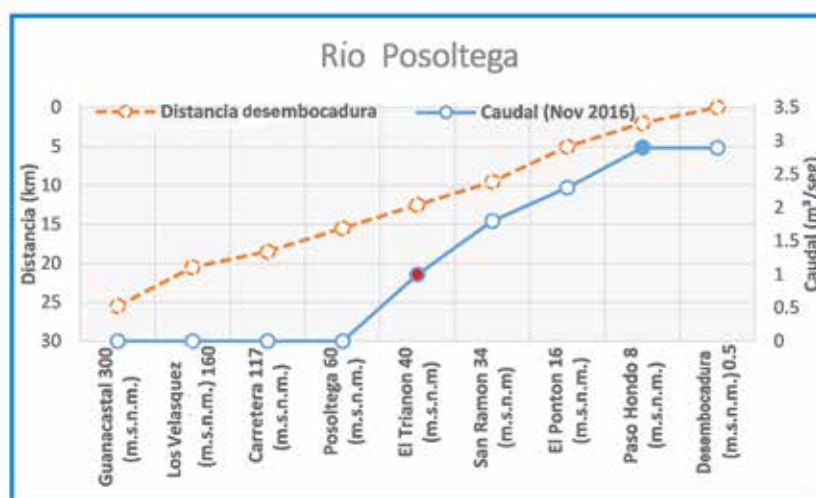
que el acuífero no tiene flujo subterráneo saliente con una sola excepción: en la cuenca 69, en el área de Nagarote donde el acuífero está en contacto subterráneo con el lago de Managua. CATRASTO Y RECURSOS NATURALES (1979) determinó un volumen anual de 24 (MMC/A) que transitaba del acuífero al lago. Este volumen representa una pérdida de aproximadamente 1% en el balance hídrico. Se propone adoptar este volumen en el balance, hasta que estudios nuevos confirmen o modifiquen este valor.

Flujo base (Fb):

La información sobre flujo base que se tiene de los ríos son mediciones esporádicas con frecuencias irregulares. Sólo para los dos ríos Atoya y Tamarindo hay algunas series de mediciones completas durante la estación seca que pueden ser utilizadas para la evaluación del flujo base. Para las demás subcuencas se carece de mediciones para poder evaluar el flujo base, por lo cual se propone determinar el coeficiente de descarga y tratar de extrapolarlo a las demás subcuencas.

Con la siguiente gráfica (figura 61) se puede demostrar el comportamiento del flujo base en la subcuenca del río Posoltega.

Figura 61. Flujo base en el río Posoltega



La gráfica demuestra un perfil a lo largo del río Posoltega que nace en la falda de los volcanes. Este río tiene un curso de aproximadamente 25 km hasta su desembocadura en el mar, cuando no llueve es seco sobre los primeros 10 km de su curso superior. INETER solía medir el caudal del río en el punto llamada "El Trianon" (ver círculo rojo en la gráfica), en este punto el río tenía un caudal de 0.9 (m³/s) en noviembre 2016.

Sin embargo, aguas abajo de "El Trianon" el flujo en el río aumenta de manera continua, teniendo una medición en el punto "Paso Hondo" de 2.9 (m³/s), también en noviembre 2016. El río como todos los demás ríos de la cuenca intercepta el flujo base que sale del acuífero gracias a la conexión hidráulica que existe entre ambos. Este flujo comienza en un punto donde el

río empieza a interceptar el nivel estático del acuífero. En la subcuenca del río Posoltega este punto se sitúa aproximadamente en la cuota 40 (m.s.n.m.), de ahí hacia la desembocadura el flujo aumenta continuamente y llega a su máximo en la desembocadura del río en el mar.

Con esta gráfica se comprueba que la selección de sitios de medición del flujo base debe ser lo más próximo posible a la desembocadura final de los ríos. Esta recomendación es sobre todo válida para los ríos Atoya, Tesorero, Sucio y Posoltega. Los demás ríos salen del acuífero y cruzan la sierra costera formado por las rocas ignimbritas de la Formación Tamarindo.

Algunas subcuencas tienen sistema de drenaje operado por más de un río. La cuenca del río Tesorero es drenada de 4 ríos diferentes, y cada uno tiene que medirse individualmente. La cuenca del río Sucio es drenada por dos brazos de ríos independientes y ambos tienen que medirse. El punto de medición elegido en la subcuenca del río Chiquito se llama "Puente de la Gallina", aguas abajo de este punto se junta un confluente al río Chiquito. Este confluente se llama San Cristóbal y tiene un caudal importante en la estación lluviosa. Sin embargo, el río San Cristóbal nace en la sierra costera y no se abastece de agua subterránea proveniente del acuífero, para fines del flujo base no tiene que medirse.

Cuando se extrae agua del río arriba del punto de medición, hay que posponer la medición. El flujo base en un río se restablece rápido, pero se recomienda no medir antes de 24 horas después del cese de la extracción. Cuando hay extracción de agua para fines agropecuarios en pozos perforados en la cuenca, aguas arriba del punto de medición, hay que sumar el volumen extraído (-disminuido por el volumen de flujo de retorno-) al volumen de flujo base calculada.

Aproximadamente 80% del abastecimiento de agua por fines de aprovechamiento de agua potable, comercio e industrial reaparece en los cauces de agua en forma de agua servida. El agua servida está presente en los ríos durante todo el año y se mide con el flujo base. La pérdida en el balance de agua subterránea asciende aproximadamente a un 20 % de la extracción que se pierde.

El flujo base drena el acuífero en los 9 ríos que salen de la cuenca y puede medirse en los sitios donde los ríos están próximos a su desembocadura al mar. También es influenciado de cierta manera por la fuerte extracción de agua subterránea en la C64. El flujo base que se usa en los cálculos del balance tiene en primer lugar que referirse a la subcuenca del río que drena.

Los resultados obtenidos para cada una de las 9 subcuencas pueden después sumarse para obtener el flujo base integral del acuífero. Cuando el análisis de recesión es aplicado para determinar el volumen almacenado al tiempo Q_0 en la porción del acuífero que corresponde a la subcuenca, el volumen

obtenido tiene ser aumentado por la extracción de agua subterránea en la subcuenca aguas arriba de la estación de aforo.

El flujo base es un indicador del estado del acuífero. En la C64 hay flujo base en los ríos durante todo el año, indicando que la recarga y /o las reservas almacenados en el acuífero son todavía más grandes que el consumo. Sin embargo, existen casos de otros ríos como el Mayales, que drena la subcuenca del mismo nombre, se ha secado frecuentemente por completo. Cuando eso sucede, es indicador de que el retén de los recursos anuales ha sido completamente consumido y toda la extracción se hace de las reservas. En este caso el nivel de agua en el acuífero se abate debajo del nivel del río y en consecuencia el flujo base se detiene. (Tabla 39)

Tabla 39. Esquema de cálculo para la determinación de la salida del acuífero del Occidente

Ríos que drenan al acuífero del Occidente (descarga mensual)									
Subcuenca	río Atoya	río Tesorero*	río Sucio	río Posoltega	río Telica	río Chiquito	río Salinas Grandes	río Izapa	río Tamarindo
Superficie (km ²)									
Año									
Caudal (m/s)									
Flujo base									
Extracción subterránea									
Suma									
*Río Tesorero tiene 4 brazos con desembocadura al océano									
**Río Sucio tiene 2 brazos con desembocadura al océano									

Cuando el flujo base (Fb) y la extracción por pozo (ex -pozo) son conocidos a nivel anual para cada una de las subcuencas, la suma de ambos equivale a la salida anual del acuífero. Esta salida es igual a la recarga anual del acuífero bajo la condición que el cambio de almacenamiento es cero.

La determinación de la parte de la extracción que tiene que sumarse al flujo base en este cálculo es de cierta manera compleja:

- (1) De la extracción para fines de aprovechamiento de agua potable e industrial aproximadamente 80% regresan al ciclo de agua como agua servida, esta agua se encuentra en los ríos adonde está presente durante todo el año. Por consiguiente esta agua se mide con el flujo base. Aproximadamente el 20% se pierde del balance de agua subterránea y entra en el cálculo.
- (2) En la extracción agropecuaria se confunde la extracción de agua superficial y subterránea. Para la medición del flujo base la extracción de agua en los ríos no tiene efecto, bajo la condición que la medición no se haga al mismo tiempo/ día de la extracción. El flujo base en un río se restablece rápido, cuando la extracción cesa, el dato que si debe incluirse en el cálculo es la extracción por pozo perforado para fines agropecuarios.

- (3) Como tercer punto se debe considerar, que una parte de la extracción por pozo perforado se reinfiltro al acuífero como flujo de retorno. El valor que entra en el cálculo es la extracción agropecuaria por pozo perforado, reducido por el flujo de retorno reinfiltrado.

El flujo base de 7 de los 9 ríos que drenan el acuífero del Occidente no fue determinada con la precisión necesaria al instante de la redacción de este informe. Sin embargo se realizó un ejercicio para determinar flujo base en el río Atoya, por ser este el único río con mediciones medianamente representativas. El ejercicio se explica en detalle a continuación.

La subcuenca del río Atoya forma el límite noroeste del área de estudio y tiene una superficie de 370 km², es aprovechado intensamente por fines agropecuarios por el ingenio Monte Rosa localizado en la parte este y también a la ciudad de Chinandega donde gran parte de sus aguas servidas desembocan en el río Atoya.

Se contó con una serie de aforos ejecutados por el personal técnico de la Dirección de Recursos Hídricos de INETER en la estación Ceylán (INETER 6411) durante el periodo de 2000 - 2014. La estación de Ceylán controla 320 km² del total de 370 km² de la subcuenca. Cinco de los quince años con mediciones proporcionan datos aptos para la evaluación del flujo base, los 5 años evaluados cubren periodos climáticos diferentes (**figura 62**).

Las curvas resultantes son inequívocas y los resultados obtenidos también son comparables entre sí.

Los resultados mostrados en la **figura 62** permiten determinar que:

Pluviosidad: Se tienen dos años medios: (2005/06 arriba del medio y 2006/07 abajo del medio), un año muy lluvioso (2007/08), un año lluvioso (2011/12) y un año muy seco (2013/14).

Cuenca: la estación controla 320 km² del total de 370 km² de la subcuenca y está bien ubicada para las mediciones de flujo base, aunque el acceso en la estación lluviosa es complicado.

Coefficiente de recesión (α): la serie destaca por la buena coincidencia de las mediciones con la ley de recesión. Los coeficientes de recesión (α) son muy uniforme con un orden de magnitud de 0.33 - 0.37.

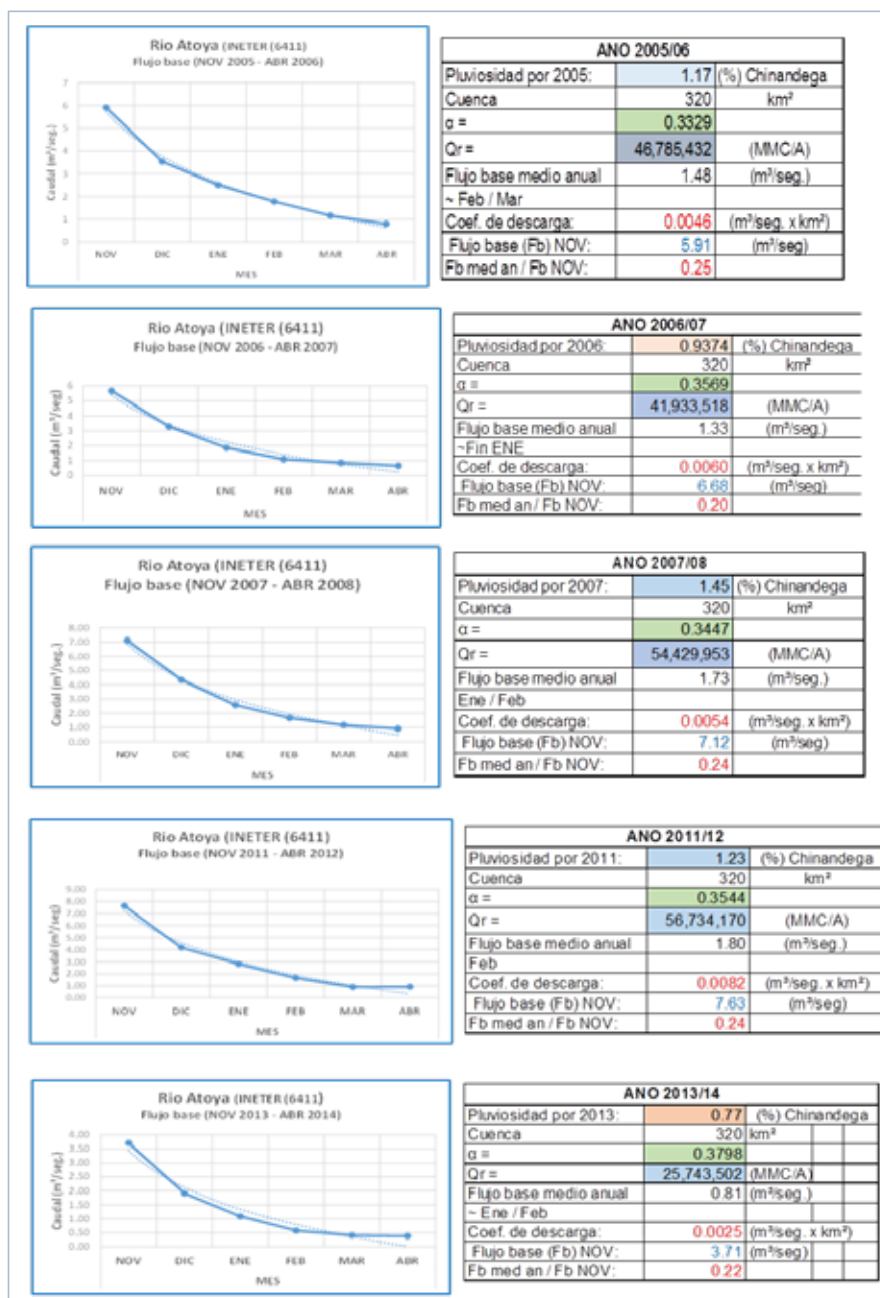
El coeficiente de recesión (α) tiene diferentes significados:

- Es indicador de la capacidad de recarga: más pequeño (α) más grande esta capacidad.
- Es indicador del porcentaje de decrecimiento mensual: un coeficiente (α) de 0.33 indica, que el caudal del flujo base se redujo en 33% mensual del promedio.
- Indicador del tiempo de permanencia del agua subterránea en el acuífero: en el ejemplo del año 2013/14 ($1/\alpha$) estuvo dentro 2.7 meses solamente, quiere decir que los recursos subterráneos medidos en el río se habían infiltrados poco antes en la estación lluviosa - probablemente durante el mes de agosto / septiembre de 2013 - en el acuífero.

Volumen de recarga de agua subterránea (Q_r) almacenado al tiempo Q_0 en el acuífero: es el volumen que se va a liberar del acuífero al río, cuando no haya recarga suplementaria. El volumen varía entre 25.7 (MMC/A) para un año seco y 56.7 (MMC/A) para un año lluvioso. El volumen para un año medio alcanza alrededor de 44 (MMC/A). Se nota que en todas las series de mediciones del flujo base el mes de noviembre es siempre el primer mes que se toma en cuenta (Q_0) y el mes de abril el último (Q_t).

Flujo base medio anual (Fb med. An.): es la transformación del volumen expresado en (MMC/A) de un caudal expresado en (m^3/s). La línea siguiente de la figura compara el flujo base medio anual con un caudal de flujo base real medida. Para el año 2013/14 el flujo base medio anual de 0.81 (m^3/s .) correspondería a un flujo que estuvo entre fin enero y principio de febrero.

Figura 62. (1-5) Evaluación del flujo base



Coefficiente de descarga ($\text{m}^3/\text{s} \times \text{km}^2$): es el coeficiente entre el flujo base medio anual y la superficie de la cuenca en (km^2). Es un índice muy importante en hidrogeología, que se utiliza para clasificar el potencial de recarga de una cuenca. Describe la descarga de agua subterránea por km^2 de la cuenca. En la mayoría de los casos se sitúa entre 0.001 y 0.005 ($\text{m}^3/\text{s} \times \text{km}^2$). Valores más altos como en el caso de la subcuenca del río Atoya, se puede traducir en un acuífero poderoso.

Flujo base del mes de noviembre (Fb nov): el mes de noviembre define el fin de la estación lluviosa y el comienzo de la estación seca. Durante la estación seca es generalmente el mes con el flujo base más grande, si no está interrumpido por otros eventos de lluvias, el caudal de noviembre es el Q0 de la serie de los cálculos del flujo base. En el estudio del flujo base es muy importante medir el primer mes de la estación seca. El flujo base del mes de noviembre habitualmente no es interferido por extracciones de agua en el área de estudio.

Fb med. an. / Fb nov: cociente entre el flujo base medio anual y el flujo base de noviembre. En la subcuenca del río Atoya el cociente varía poco entre 0.20-0.25. Cuando el flujo base de noviembre es conocido, este cociente se calcula con la intención de generar el flujo base medio anual de otras subcuencas.

El método de Wundt es otro procedimiento que permite separar escorrentía superficial y flujo base, para esto se necesitan registros de escorrentía superficial registrada en caudales diarios. Los registros de caudales medio diarios y su publicación en anuarios es estándar en muchos países.

La escorrentía medida en una estación de aforo se compone de agua de lluvia; agua de retención y flujo base. Los dos primeros términos son generalmente analizados en conjunto, porque el agua en retención se junta con el agua superficial con un cierto retraso o también puede ser evaporada. El flujo base es agua subterránea que se ha infiltrado al acuífero y reaparece como escorrentía río abajo. Bajo las siguientes condiciones: (1) el acuífero y el río están en contacto hidráulico y (2) el nivel del río corta o intercepta el nivel estático del acuífero pudiendo separar los componentes mencionados (ver figura modelo de flujo base del acuífero de acápite 6.1.2.4).

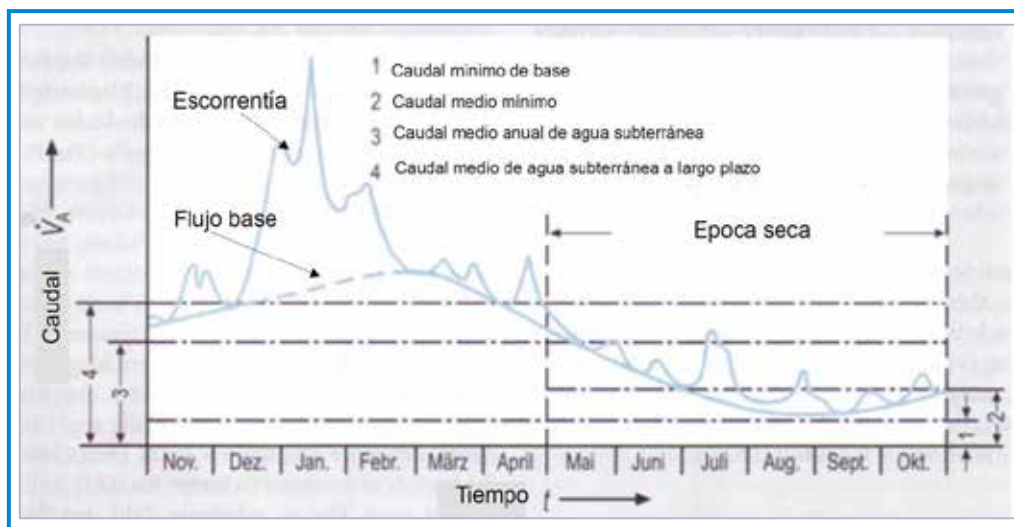
En la estación lluviosa, escorrentía superficial y flujo base son difícil de separar. Sin embargo, en la estación seca, el flujo de agua en los ríos proviene únicamente del drenaje de agua subterránea. Si no llueve, el flujo base disminuye regularmente siguiendo una ley logarítmica y se puede determinar mediante el análisis de la curva de recesión del flujo base (en inglés: recession curve analysis) que permite determinar los recursos de agua subterránea almacenada en el acuífero al tiempo Q0, aguas arriba de la estación de aforo de referencia.

El flujo base está presente durante todo el año. La figura 60 sirve para demostrar esta observación mostrando un ejemplo de una curva cronológica

de escorrentía en Alemania, con el caudal con poca precipitación, con la excepción de un periodo lluvioso entre diciembre y febrero. En los demás meses se observan picos de lluvia que terminan sobre una curva lisa de compensación.

La curva de compensación representa el flujo base y los picos encima de la curva la escorrentía superficial, se observa que en ese año el flujo base tenía más volumen que la escorrentía.

Figura 63. Hidrograma de la escorrentía y flujo base durante un año seco



El método consiste en determinar el caudal mínimo diario en cada mes y para cada año. Se calcula el promedio de los caudales mínimo diario para eliminar valores excepcionalmente altos y bajos (como los de diciembre y febrero en el ejemplo), el conjunto de datos se reduce para al 10% de datos más altos y más bajos antes de proceder al cálculo del promedio. El promedio es el caudal medio mínimo diario de un conjunto de datos mensual; (Q med min) en la definición de índices características de escorrentía (fig. 64).

Figura 64. Índices característicos en un hidrograma

INDICES CARACTERISTICAS DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Q máximo absoluto	Q max. abs.	El caudal más alto registrado en el conjunto de caudales diarios de una estación
Q medio máximo	Q med. max.	La media de los caudales diarios máximo de cada mes, de cada año
Q medio	Q med.	La media aritmética de los caudales medio diarios de cada mes, de cada año
Q medio mínimo	Q med. min.	La media de los caudales diarios mínimo de cada mes, de cada año
Q mínimo absoluto	Q min. abs.	El caudal más pequeño registrado en el conjunto de caudales diarios de una estación

El método se aplicó al único registro de escorrentía diario completo que existe en la Cuenca 64, consiste de una tabla de aforos diarios publicada en CASTRATRO Y RECURSOS NATURALES (1969), Vol II, página III-B-22. El resultado es presentado en la figura 65 y visualizado en la figura 66.

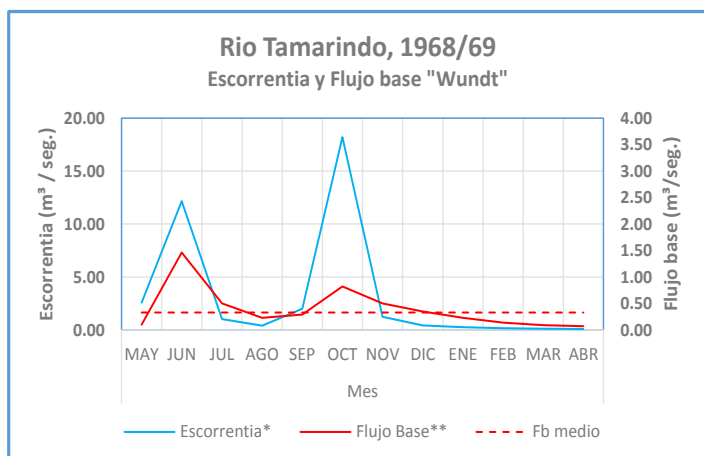
Para el año 1968 / 69 el caudal de flujo base medio ascendía a 0.33 (m³/seg), dando un volumen anual de flujo base de 10.3 (MMC/A), que resultaba en 10 % de la escorrentía anual de 101.6 (MMC/A).

Figura 65. Registro de caudales diarios del río Tamarindo (Catastro y Recursos Naturales, 1968/69)

ESTACION : Tamarindo												LATITUD :	12° 14.5'
RIO : Tamarindo												LONGITUD :	86° 42.8'
CUENCA : Tamarindo												ELEVACION :	76.88 (m.s.n.m)
CODIGO : 66-01-01												AREA HASTA ESTACION :	205.52 km²
DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	
1	0.10	4.42	1.28	0.55	0.60	1.46	2.10	0.70	0.29	0.23	0.18	0.09	
2	0.10	10.35	2.67	0.45	0.50	1.28	2.34	0.60	0.29	0.18	0.18	0.09	
3	0.10	37.92	3.00	0.45	0.40	1.10	1.66	0.50	0.35	0.18	0.14	0.09	
4	0.10	13.10	1.66	0.45	0.35	1.10	1.28	0.50	0.35	0.18	0.12	0.07	
5	0.10	47.04	1.28	0.45	0.29	0.96	1.28	0.50	0.35	0.18	0.12	0.07	
6	0.10	38.49	1.28	0.50	0.35	1.10	1.10	0.50	0.35	0.16	0.12	0.07	
7	0.10	6.36	1.10	0.37	1.00	1.03	1.10	0.50	0.29	0.14	0.12	0.07	
8	0.10	3.20	1.10	0.37	0.70	0.82	1.10	0.50	0.29	0.14	0.12	0.07	
9	0.10	2.58	1.28	0.37	1.46	0.82	3.15	0.50	0.29	0.14	0.12	0.07	
10	0.18	3.43	1.10	0.37	0.75	0.96	2.46	0.40	0.29	0.14	0.12	0.07	
11	0.50	24.86	1.10	0.32	0.60	6.80	1.37	0.50	0.29	0.14	0.12	0.07	
12	0.40	52.06	1.10	0.55	0.50	1.88	2.46	0.50	0.29	0.14	0.12	0.07	
13	0.35	8.18	1.10	0.60	0.40	1.46	1.19	0.40	0.29	0.14	0.16	0.07	
14	0.29	14.90	0.96	0.65	0.40	4.80	1.03	0.50	0.23	0.18	0.12	0.07	
15	0.23	10.18	0.96	0.45	0.55	22.59	0.96	0.40	0.23	0.18	0.12	0.09	
16	0.18	4.08	0.82	0.45	0.70	89.62	1.03	0.35	0.23	0.18	0.12	0.08	
17	0.29	18.61	0.82	0.32	1.46	88.08	1.37	0.35	0.23	0.18	0.12	0.08	
18	0.29	20.12	0.82	0.32	1.66	117.30	1.03	0.35	0.29	0.14	0.12	0.08	
19	0.29	23.00	0.82	0.37	1.46	20.46	0.89	0.35	0.23	0.14	0.12	0.08	
20	3.46	4.08	0.82	0.37	4.80	13.65	0.89	0.35	0.23	0.14	0.12	0.08	
21	7.27	2.80	0.82	0.32	5.16	11.83	0.89	0.35	0.23	0.18	0.12	0.08	
22	1.66	2.10	0.82	0.32	7.76	1.88	0.89	0.35	0.23	0.18	0.12	0.07	
23	0.70	1.88	0.60	0.37	5.16	1.66	0.82	0.40	0.23	0.18	0.12	0.07	
24	0.82	1.66	0.60	0.32	3.00	1.55	0.82	0.35	0.23	0.18	0.12	0.23	
25	2.98	1.66	0.50	0.37	1.66	1.66	0.82	0.35	0.23	0.18	0.12	0.29	
26	4.82	1.66	0.50	0.40	1.88	136.80	0.70	0.35	0.23	0.18	0.12	0.12	
27	1.10	1.66	0.55	0.29	3.20	3.90	0.70	0.35	0.23	0.18	0.09	0.09	
28	1.00	1.46	0.55	0.23	7.76	8.00	0.70	0.35	0.23	0.18	0.09	0.09	
29	4.07	1.46	0.55	0.29	3.00	14.73	0.60	0.35	0.23	0.18	0.09	0.07	
30	34.59	1.46	0.65	0.23	2.34	2.90	0.50	0.35	0.23	0.18	0.12	0.07	
31	13.84		0.55	0.37		1.88		0.35	0.23		0.12		
Q medio mensual (m³/seg.)	2.59	12.16	1.02	0.39	2.00	18.20	1.24	0.42	0.26	0.17	0.12	0.09	
Q max instantaneo (m³/seg.)	119.52	181.96	12.20	0.90	19.96	136.89	14.32	0.70	0.36	0.23	0.18	1.00	
Q minnimo instantaneo (m³/seg)	0.10	1.37	0.46	0.23	0.23	0.70	0.50	0.36	0.23	0.10	0.09	0.07	
Volumen (Mm³)	6.937	31.545	2.732	1.071	5.184	48.747	3.240	1.125	0.696	0.411	0.321	0.233	
Coef de descarga (m³/seg. km²)	0.01259	0.05916	0.00498	0.00192	0.00971	0.08853	0.00604	0.00206	0.00129	0.00082	0.00060	0.00044	

Figura 66. Resultados del análisis de caudales medio diarios 1968/69

Metodo de Wundt		Caudal	
Rio Tamarindo, 1968/69		(m³/seg.)	
Mes	Mes	Escoorrentia*	Flujo Base**
	MAY	2.59	0.10
	JUN	12.16	1.46
	JUL	1.02	0.50
	AGO	0.39	0.23
	SEP	2.00	0.29
	OCT	18.20	0.82
	NOV	1.24	0.50
	DIC	0.42	0.35
	ENE	0.26	0.23
	FEB	0.17	0.14
	MAR	0.12	0.09
	ABR	0.09	0.07
Medio anual	(m³/seg.)	3.22	0.33
Volumen anual	(MC/A)	101,616,509	10,249,200



* caudal medio mensual

**caudal medio diario mas pequeno del mes

1.46 / 0.07 = 10% de los valores mas altos/bajos

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Se seleccionaron los meses de noviembre a abril en una tabla semi-logarítmica, la parte inferior de la tabla muestra los valores corregidos de Q_0 y Q_t . Los caudales medidos de noviembre y abril son altos, el caudal indicado por la recta de la gráfica Q_0 es 0.8 (m^3/s) y el de Q_t 0.7 (m^3/s) (figura 67 y 68).

Figura 67. Flujo base durante el año hidrológico del río Tamarindo (1968/69)

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Q medio mensual ($m^3/seg.$)	2.6	12.2	1.0	0.4	2.0	18.2	1.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1

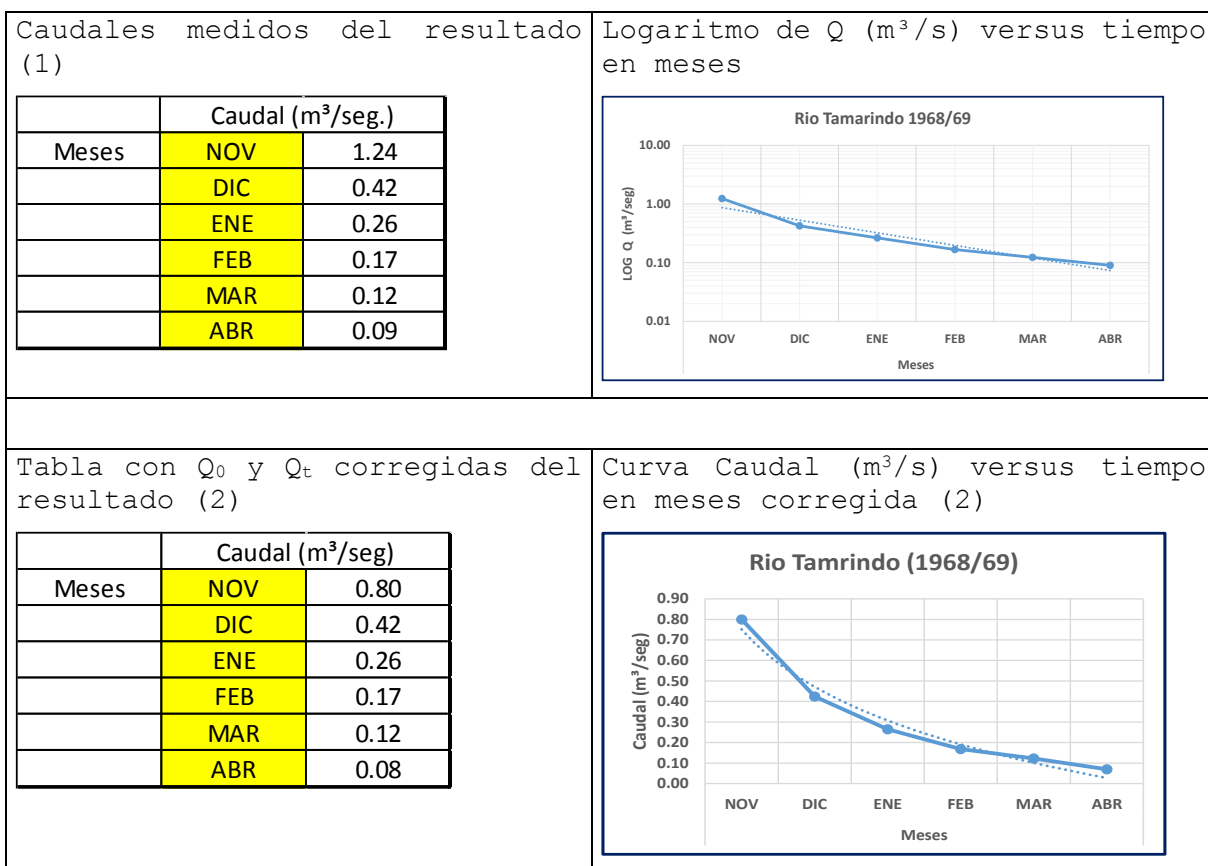


Figura 68. Resultados del análisis del río Tamarindo (1968/69)

$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343 \times t}$ $\alpha_1 = 0.437$ $\alpha_2 = 0.406$	<p>(α) El coeficiente (α) es un indicador de la capacidad de recarga del acuífero. Más pequeño (α) más grande esta capacidad. 0.4 es más bien un coeficiente que indica un poder débil de recarga y de almacenamiento.</p> <p>(α) es también un indicador del porcentaje de decrecimiento mensual. Por ejemplo: un coeficiente (α) de 0.5 indica que el caudal del flujo base se redujo de 50% mensual en promedio.</p>
$Q \text{ recursos} = \frac{Q_0}{\alpha}$ $Q_1 = 7,474,537$ $Q_2 = 5,192,330$	<p>Q_r da el volumen en (m^3) de agua subterránea almacenada en el acuífero al tiempo Q_0, quiere decir: al fin de la estación lluviosa en noviembre de 1968. En el cálculo Q_0 se midió en (m^3/s) y α en (meses). Por eso hay que multiplicar Q_0 con 86400 segundos para llevarlo a (días), y 30.5 (días) para llevarlo a (meses). Este volumen de agua subterránea se convierte en flujo base y es el que está disponible para consumo hasta la recarga nueva del acuífero en el año próximo.</p>
$\frac{1}{\alpha} = (1) = 2.29 \quad (2) = 2.46$	<p>($1/\alpha$) es un indicador del tiempo de permanencia del agua subterránea en el acuífero: en el ejemplo del año 1969, ($1/\alpha$) estaba 2.28 indicando que los recursos subterráneos medidos en el río se habían infiltrados al acuífero durante la estación lluviosa anterior - probablemente durante el mes de Septiembre y Octubre de 1968.</p>

En la **figura 69** se han resumido los índices hidrológicos que se pueden deducir del estudio hidrológico de Catastro de 1968/69. La pluviosidad del año 1968/1969 se determinó con datos climáticos registrados en otras estaciones de la cuenca.

Figura 69. Índices hidrológicos del río Tamarindo (año hídrico 1968/69)

Superficie sub-cuenca aguas arriba de la estacion de aforo (km²):	205.52
Precipitacion anual sub-cuenca del Rio Tamarindo durante 1968/69 (mm):	1,719.0
Pluviosidad 1968/69, estacion de Chinandega:	115.5%
Pluviosidad 1968/69, estacion San Antonio:	129.9%
Volumen de agua precipitada en la sub-cuenca (1968/69) (m³):	348,131,880.0
Escorrentia total anual (1968/69), sub-cuenca Rio Tamarindo (MMC/A):	102,242,000.0
Escorrentia total ref Precipitacion anual:	29.36%
Flujo base (Wundt) (MMC/A):	10,249,200
Flujo base segun ley de agotamiento (MMC/A):	7,488,818
Flujo base (Wundt) ref. precipitacion total:	2.9%
Flujo base segun ley de agotamiento ref. precipitacion anual:	2.2%
Flujo base (Wundt) ref. escorrentia anual:	10.0%
Flujo base segun ley de agotamiento ref. escorrentia anual:	7.3%
Coeficiente de descarga ref. flujo base (m³/seg x km²):	0.049 / 0.036

En el ejemplo del flujo base calculado por el método de Wundt, el resultado es más alto que el calculado por el método de la ley de recesión. Esto puede deberse a dos razones: (1) el año 1968/69 fue lluvioso y para aplicar el método de Wundt se requieren registros de escorrentía diario de muchos años con escenarios climáticos diferentes en una misma estación para obtener un valor medio representativo. Un solo año lluvioso tiene que resultar necesariamente en un volumen de flujo base sobreevaluado. (2) En hidrología la aplicación de dos métodos diferentes al mismo problema casi siempre resulta en resultados diferentes.

Se nota también, que se tienen dos resultados diferentes por el análisis de recesión (recession curve analysis) y que se eligió la solución (1) que no corresponde tan ajustado con la ley de recesión. La explicación es la siguiente: la serie de mediciones utilizadas para el cálculo se basó sobre valores medios diarios. Cada valor medio mensual es el promedio de 30/31 mediciones diarias. La ley de recesión de un depósito de agua es la descripción matemática de un proceso ideal que en la realidad puede desarrollarse de manera diferente. En nuestro caso confiamos más en la calidad de los datos medidos que en la ley misma, ya que está puede variar en dependencia de la situación de cada cuenca.

Cuando el cálculo se basa sobre una sola medición mensual, la probabilidad de un error de medición es real y una corrección según la ley de recesión parece muy razonable.

6.2.2.4 Cambio de almacenamiento (Δi):

Para el cambio de almacenamiento en un acuífero hay generalmente dos escenarios:

- Escenario (1): el consumo anual - (es más grande $>$) - que la recarga anual. Resultado: el flujo base se reduce y el nivel estático (NEA) empieza a descender. El saldo entre entrada y salida en el balance se convierte en negativo.
- Escenario (2): el consumo anual - (es más pequeño $<$) - que la recarga anual. Resultado: el flujo base aumenta y el nivel estático (NEA) se mantiene o aumenta también. El saldo entre entrada y salida en el balance es positivo.

Para la Cuenca C64 y el acuífero del Occidente hay un escenario suplementario:

- En la estación seca se manifiesta lo descrito para el escenario (1): el déficit de recarga produce un abatimiento del NEA y una reducción del flujo base. En la estación lluviosa se manifiesta lo descrito para el escenario (2): el superávit en la oferta de agua produce la recuperación del déficit de recarga que se manifestó en la estación seca. El flujo base y el NEA aumentan, a nivel anual el déficit de la estación seca y el superávit de la estación lluviosa se equilibran y el saldo del balance es cero.

6.3 Aproximaciones

Este capítulo presenta 4 cálculos para estimar los recursos hídricos disponibles en la C64 y en su acuífero.

Los métodos clásicos para determinar los recursos de agua, que son el balance hídrico y el balance del agua subterránea no se pueden todavía aplicar al "acuífero del Occidente", por falta de información precisa y consistente, por ejemplo no se conoce todavía con la exactitud requerida ni la escurrimiento superficial, ni la explotación agropecuaria. Sin embargo, la determinación de los dos balances antes mencionados no es el único enfoque que permite aproximarse a los recursos hídricos, ya que se cuenta con información importante desde el estudio de MAGFOR / INETER en 1999 que no se ha explotado y que puede combinarse con informaciones nuevas para poder acercarse a la meta, sobre todo en el área de meteorología, monitoreo del nivel estático, mediciones del flujo base y muestreo de calidad de agua.

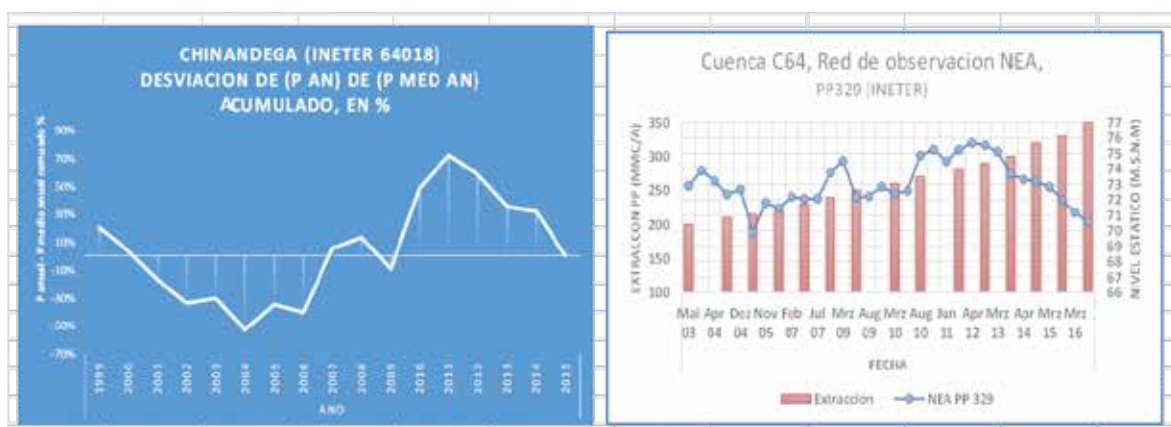
El procedimiento para llegar a estas aproximaciones produce resultados provisionales que aun así proporcionan herramientas para gestiones valiosas en el manejo de los recursos hídricos.

6.3.1 Primera aproximación: Combinación de la información sobre precipitación / nea / extracción

Es quizás la aproximación más prometedora para determinar en el futuro el rendimiento seguro del acuífero del Occidente, porque tenemos ya información sobre los primeros dos términos, la precipitación y el desarrollo del NEA, aunque todavía está pendiente la cifra definitiva de la extracción.

Cuando se analizan los tres términos de precipitación, desarrollo del nivel estático y extracción, el volumen del rendimiento seguro se podría determinar solamente cuándo la explotación se conozca con exactitud. Si esta condición no se cumpliera, como en el caso de la C64, se puede eventualmente detectar una tendencia. Esta tendencia muestra un descenso del nivel estático junto con el deterioro de la calidad de agua analizada en el acápite 4.2.2, es muy probable que el descenso sea atribuible a la extracción creciente (figura 70).

Figura 70. Conjunto de ciclos de precipitación, desarrollo del NEA y extracción estimada para el periodo 1999 - 2016



Como se explicó en los capítulos anteriores (6.2.2.6) la extracción total actual en la cuenca que puede situarse entre 250 y 350 (MMC/A). Con estos datos se construye una gráfica que combina el desarrollo real del NEA con una extracción estimada. En este ejemplo se demuestra que el equilibrio en el acuífero se rompió entre el año 2012 y 2015, cuando la extracción alcanzó un valor de 250 (MMC/A). Este valor representaría entonces el rendimiento seguro por el período presentado en la gráfica.

6.3.2.1 Segunda aproximación: Balance hídrico usando los datos elaborados en la subcuenca del río Atoya

El balance hídrico en la subcuenca del río Atoya se elaboró aplicando la aproximación del método de Lillich. En este balance, el flujo base (Fb) representa la parte de agua que se ha infiltrado al acuífero, es decir el equivalente a la recarga del agua subterránea

Las tablas resumen los datos más importantes del balance en porcentajes y por caracterización de año de lluvia (**Tabla 40 y 41**). Es interesante resaltar que el flujo base del año medio es más grande que del año lluvioso. Al parecer en los años lluviosos, la pérdida por escorrentía superficial en el balance hídrico que se vierte en el mar es mucho más grande que durante un año con precipitación media. Igual que en la Cuenca 72, el flujo base es el término más estable y la escorrentía superficial el término más variable dentro del balance hídrico.

La distribución de la precipitación en la cuenca fue determinada por el método de Thiessen, y comprende el período 1960-2015. De acuerdo a los valores descritos abajo se determinaron los porcentajes de cada uno de los términos que conforman el balance.

- La precipitación por un año medio asciende a: 1644 (mm)
- La precipitación por un año medio seco a: 1141 (mm)
- La precipitación por un año medio lluvioso a: 2203 (mm)

Tabla 40. Balance hídrico en porcentaje para tres períodos climáticos para la subcuenca del río Atoya (2000 - 2014)

AÑO	P (%)	Etr (%)	Esc (%)	Fb (%)
Lluvioso	100	35	59	6
Medio	100	61	52	7
Seco	100	70	25	5

P = Precipitación; Etr = Evapotranspiración; Esc = Escorrentía superficial; Fb = Flujo base

El flujo base también representa el drenaje del acuífero, por tanto el cálculo se refiere a la superficie del acuífero dentro de la C64/66/69 que es 2435 km² y no a la superficie de la cuenca entera.

Tabla 41. Precipitación y flujo base (recarga del acuífero) para tres periodos climáticos

AÑO	SUPERFICIE (km ²)	PRECIPITACIÓN		FLUJO BASE	
		(m ³)	(MMC/A)	(m ³)	(MMC/A)
Medio	2435	1644	4003.19	0.099	241
Seco	2435	1141	2778.34	0.080	194
Lluvioso	2435	2203	5364.31	0.110	268

La recarga media del acuífero del Occidente para un año con precipitación media durante el periodo entre 1960/70–2015 fue de 241 (MMC/A).

6.3.2.2 Tercera aproximación: Determinación de la tasa de infiltración y la recarga del acuífero

La tercera aproximación trata de acercarse a la recarga del “acuífero del Occidente”, usando la precipitación, la superficie efectiva del acuífero y la tasa de infiltración. Se procedió a realizar cálculos que tienen una estructura de matriz; que se usan y se combinan con diferentes gamas de valores que varían entre valores mínimo y máximo del parámetro en cuestión. De esta manera se obtienen rangos de resultados, que delimitan probabilidades y a su vez permiten aproximaciones sobre el rango de parámetros importantes del acuífero tal como la tasa de infiltración o la recarga anual.

La tasa de infiltración se determina usando los resultados del flujo de Darcy a través del acuífero. El volumen de flujo de Darcy o flujo subterráneo determinado por INETER era 311 (MMC/A). PROATAS (2015) modificó este valor por una sobreevaluación de las transmisividades, llegando a una recarga óptima de 276 (MMC/A) y una recarga regular de 235 (MMC/A).

Por otro lado, la superficie total del acuífero del Occidente asciende a 2,435 km², bajo un punto de vista “aptitud a la infiltración de lluvia”, la superficie efectiva del acuífero es mucho menos grande. Esta área está limitada sobre todo por urbanizaciones en El Viejo, Chinandega, Chichigalpa, Posoltega, Telica, Quezalaguaque, León, La Paz Centro, Nagarote y otras urbanizaciones más pequeñas, así como otras zonas selladas y una larga banda de terreno pantanoso con un nivel freático próximo a la superficie, que se extiende en la parte noroeste a lo largo de la costa. Como no se conoce la superficie efectiva de manera exacta, se trabajó con una matriz de diferentes valores que se extiende de un mínimo de 1500 (km²) hacia un máximo de 2000 (km²).

En un primer paso se calculó la tasa de infiltración por tres diferentes volúmenes de flujo de Darcy y por 6 diferentes superficies efectivos del acuífero, para esto se utilizaron los datos de la precipitación de la estación de Chinandega del año de estudio de 1999 (fig. 69).

Figura 71. Aproximación sobre la tasa de infiltración del acuífero del Occidente

Superficie total del acuífero (km²)	2435	Precipitación (m³)		Recarga (MMC/AN)			
Superficie efectivo del acuífero, min: (km ²)	1500	Precipitación 1999 (m ³)	2.42	3.11E+08	Recarga INETER 1999		
	1600	Precipitación 1999 (m ³)	2.42	2.76E+08	Recarga optima 1999		
	1700	Precipitación 1999 (m ³)	2.42	2.35E+08	Recarga regular 1999		
	1800						
	1900						
Superficie efectivo del acuífero, max: (km ²)	2000	Superficie efectivo del acuífero (m²)					
Precipitación anual 1999, Chinandega (mm)	2422	1.50E+09	1.60E+09	1.70E+09	1.80E+09	1.90E+09	2.00E+09
Recarga INETER, AÑO 1999 (MMC/AN)	311	Tasa de infiltración resultante en (%) de la precipitación de 1999					
Recarga corregida optima (MMC/AN)	276	8.6%	8.0%	7.6%	7.1%	6.8%	6.4%
Recarga corregida regular (MMC/AN)	235	7.6%	7.1%	6.7%	6.3%	6.0%	5.7%
		6.5%	6.1%	5.7%	5.4%	5.1%	4.9%

El resultado da rangos para la tasa de infiltración que van de 4.9 % hasta 8.6% de la precipitación anual de 1999 de 2,422 mm.

En un segundo paso se calculó para las diferentes tasas de infiltración obtenidas, con la precipitación medio de la cuenca de 1651 (mm) y los 6 escenarios de superficie efectiva, la recarga anual del acuífero (figura 70).

Figura 72. Aproximación sobre la recarga del acuífero del Occidente

Superficie total del acuífero (km²)	2435	Tasa de Infiltración		Superficie efectivo del acuífero (km²)					
Superficie efectivo del acuífero, min: (km ²)	1500	anual		1500	1600	1700	1800	1900	2000
	1600	(m ³)		Recarga anual del acuífero (MMC/A)					
	1700	0.083		125	133	141	149	158	166
	1800	0.099		149	158	168	178	188	198
	1900	0.116		174	186	197	209	220	232
Superficie efectivo del acuífero, max: (km ²)	2000	0.132		198	211	224	238	251	264
Cuenca C 64, Precipitación medio anual (mm)	1651	0.149		224	238	253	268	283	298
Tasa de infiltración de la precipitación (5%) (mm)	83								
(6%) (mm)	99								
(7%) (mm)	116								
(8%) (mm)	132								
(9%) (mm)	149								

El resultado da rangos para la recarga anual del acuífero entre 125 - 298 (MMC/A).

6.3.2.4 Cuarta aproximación: Determinación de los términos de salida en el balance de agua subterránea con ayuda de mediciones del flujo base y de la extracción

En la Cuenca 64 la salida del acuífero es operado por los 9 ríos enumerados en la tabla de abajo. Los ríos forman la base de drenaje del acuífero y reciben la totalidad de su descarga. Al flujo base hay que sumar la extracción de agua superficial y subterránea en la subcuenca aguas arriba del punto de medición para llegar al volumen de salida = descarga del acuífero.

Durante la gira de campo realizada el 9-11 y 15-17 de noviembre 2016 se determinó el flujo base en 5 sub-cuencas: río Tesorero con 4 brazos individuales, río Sucio con 2 brazos, río Posoltega, río Telica y río Chiquito cada vez con sólo un brazo (color azul). El flujo base de noviembre es igual o próximo al flujo base máximo anual, durante este tiempo no llovió en el área 1 semana antes de las mediciones y se hicieron próximas a la

desembocadura de los ríos en el mar. Tres de las 9 mediciones se hicieron dentro del área del ingenio San Antonio en donde hay extracción para riego pero que en ese tiempo todavía no había empezado y el caudal medido de los ríos Posoltega, Sucio y Tesorero era fuerte. El flujo base medido en el río Telica fue bajo y el flujo base del río Chiquito fue muy bajo. El flujo base de las demás subcuencas fue estimado (Tabla 42).

Otras consideraciones fueron las extracciones de ENACAL y FISE para fines de aprovechamiento de agua potable e industrial, que se mantuvieron altas y constantes durante todo el año.

Tabla 42. Resultados de las estimaciones de flujo base de las subcuencas que drenan la C64/66 y su acuífero.

Subcuenca* (ríos que drenan el acuífero de Occidente)	1 Superficie (km ²)	2 Determinación de flujo base (noviembre 2016)	3 Caudal (m ³ /s)	4 Coeficiente de descarga (m ³ /seg. x km ²)	5 Flujo base (noviembre) (m ³)	6 Flujo base medio anual = (0.25*Fb Nov) (m ³ /s)	7 Flujo base anual (MMC)
Río Atoya	320	estimado	2.5	0.0078	6,480,000	0.63	19.71
Río Tesorero	250	medido	3	0.012	7,776,000	0.75	23.65
Río Sucio	241	medido	5	0.0207	12,960,000	1.25	39.42
Río Posoltega	226	medido	2.9	0.0128	7,516,800	0.73	22.86
Río Telica	225	medido	1.4	0.0062	3,628,800	0.35	11.04
Río Chiquito	394	medido	0.9	0.0023	2,332,800	0.23	7.1
Río Salinas Grande	337	estimado	1	0.003	2,592,000	0.25	7.88
Río Izapa	264	estimado	1	0.0038	2,592,000	0.25	7.88
Río Tamarindo	205	estimado	1	0.0049	2,592,000	0.25	7.88
Acuífero de Occidente	2462	medido			48,470,400		147.43

* (Descarga para el mes de Noviembre)

** Río Tesorero tiene 4 brazos con desembocadura al océano

*** Río Sucio tiene 2 brazos con desembocadura al océano

Se debe notar: (1) que el flujo base del mes de noviembre no es interferido por extracción de agua superficial o subterránea en la cuenca.;

(2) Que el mes de noviembre representa probablemente el mes con el flujo base máximo anual;

(3) Que el volumen del flujo base mensual va disminuyendo de noviembre hasta mayo y aumentando de junio hacia noviembre;

(4) Que el promedio anual del volumen del flujo base no corresponde al volumen mensual de noviembre, sino probablemente al volumen mensual de febrero o marzo.

Los números en la primera columna de la figura se refieren a: (1): superficie de la subcuenca en km²; (2) método de determinación de flujo base; (3): caudal medido/ estimado; (4): coeficiente de descarga para el mes de noviembre = (4/1) = caudal de noviembre dividido entre la superficie de la cuenca; (5): volumen del flujo base en noviembre = (caudal * 86,400*30); (6): coeficiente medido en el río Atoya (vea más abajo); (7): volumen anual = (caudal de la columna 7 *31,356x 10⁶).

(7): en la subcuenca del río Atoya se dispone de 5 series anuales de flujo base, con resultados muy similares. Con estos registros se determinó, que el cociente entre el caudal de flujo base de noviembre y caudal medio anual del flujo base está entre 0.20 y 0.25, es decir que el caudal de flujo base de noviembre es 4 veces más fuerte que el caudal promedio del flujo base anual. Con ayuda de esta relación se generó el volumen del flujo base de cada una de las 9 subcuencas. La suma del flujo base de las 9 subcuencas equivale al flujo base del acuífero. El resultado daba un volumen de flujo base anual de 147 (MMC/A).

La determinación de la parte de la extracción que tiene que sumarse al flujo base en este cálculo es un poco compleja (ver capítulo de extracción 6.2 para valores mencionados aquí):

- (4) De la extracción por fines de aprovechamiento de agua potable e industrial de 81 (MMC/A), aproximadamente 80% o 65 (MMC/A) regresan al ciclo de agua su forma de agua servida, esta agua se encuentra en los ríos donde está presente durante todo el año, como consecuencia se mide con el flujo base. El 20% o 16 (MMC/A) se pierden del balance de agua subterránea.
- (5) El valor de 166 (MMC/A) contiene la extracción de agua superficial y subterránea mezclada. Para la medición del flujo base, la extracción de agua en los ríos no tiene efecto, el cálculo que se debe colocar es la extracción agropecuaria por pozo perforado, es decir menos que 166 (MMC/A). Para llegar a un resultado, ponemos arbitrariamente: de la extracción agropecuaria total de 166 (MMC/A), 100 (MMC/A) se hacen por pozo perforado, 66 (MMC/A) por toma de agua en los ríos. Siguiendo esta aproximación, 100 (MMC/A) se pierden del balance de agua subterránea.

Con los datos expuestos se obtiene la salida del acuífero a: $147 + 16 + 100 = 263$ (MMC/A).

6.3.2.5 Resultados de las 4 aproximaciones para recarga

En las 4 aproximaciones del capítulo 6 los resultados por la recarga del acuífero del Occidente oscilaban entre:

- Aproximación 1) 250 (MMC/A)
- Aproximación 2) 241 - 268 (MMC/A)
- Aproximación 3) 125 - 298 (MMC/A)
- Aproximación 4) 263 (MMC/A)

De todos los análisis realizados es razonable proponer que los recursos explotables a largo plazo del acuífero del Occidente tienen un orden de magnitud de 200 y 300 (MMC/A), dependiendo superávit o déficit de la precipitación de varios años.

6.4 Balance hídrico de oferta y demanda de aguas subterráneas

Como ya se mencionó anteriormente en el capítulo 1, la cuenca 64 está comprendida por 11 unidades hidrográficas con diferentes áreas variando así su oferta de agua superficial y subterránea. Del capítulo anterior se pudo obtener por la oferta disponible de toda la cuenca 64 como suma de cada una de la recargas disponibles por subcuenca. Para el caso de la subcuenca del río Atoya se determinó conforme tres escenarios climáticos, ya que era el único río que contaba con algunas series de mediciones de caudales de ríos lo que permite caracterizar la escorrentía de acuerdo a cada rango de precipitación: año lluvioso, año seco y año medio.

No es posible determinar la oferta total de agua en la cuenca 64, ya que los datos de los caudales existentes todavía no permiten definir escorrentía con la exactitud necesaria. En la **tabla 43** se presenta las estimaciones sólo para el balance oferta -demanda de las aguas subterráneas, tomando los rangos de la recarga calculada de la **tabla 42**. El cálculo se basa en la situación de 2015 y se incluyó solamente la demanda originada del agua subterránea.

Tabla 43. Balance oferta/demanda de las aguas subterráneas

OFERTA	2015 (MMC/A)
Año seco	194
Año medio	241
Año lluvioso	268
DEMANDA	
Consumo humano	76.98
Consumo humano e industrial	0.93
Consumo agrícola	154.1
Total	232.01
BALANCE OFERTA/DEMANDA (año seco)	-38
BALANCE OFERTA/DEMANDA (año medio)	9

Para el año con período seco existe un déficit considerable de 38 MMC/A y para el año con precipitación promedio existe un excedente de 9 MMC. Cabe señalar que los valores estimados para el periodo estudiado pueden todavía variar en dependencia de los ciclos de comportamiento de la lluvia. Por ejemplo si se da la consecución de 2 ó 3 años de sequía, el déficit podría aumentar y si a estos años le sucede un año de lluvia promedio o un año lluvioso la recarga no será la indicada en la tabla ya que habrá un déficit del almacenamiento de agua subterránea.

7. Situación del suministro de agua potable y saneamiento

En este capítulo se abordará la situación del suministro del agua potable en las zonas rurales y urbanas de los diez municipios que conforman la Cuenca 64. Además se realizará una descripción de la situación del saneamiento de las aguas residuales.

7.1 Suministro rural

El suministro del agua potable en las zonas rurales de los territorios de los diez municipios que se encuentran dentro de la cuenca 64, está a cargo de los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), quienes cuentan con el acompañamiento y gestión de las alcaldías municipales; actualmente a los mini acueductos por bombeo eléctrico también les brinda asistencia ENACAL. Los sistemas han sido construidos a través de proyectos con las alcaldías, Fondo Social de Emergencia (FISE), organismos de cooperación externa y entidades religiosas.

El abastecimiento rural en su mayoría es realizado a través de sistemas con pozos perforados equipados con bomba manual de varios tipos (de mecate o sistemas hidráulicos) y pozos perforados equipados con bombas eléctricas (foto 22 y 23). Según el FISE al 2017 registraba en el SIASAR la existencia de 363 sistemas de abastecimiento rural en las comunidades dentro del área de la cuenca 64, de los cuales produjeron para el año 2017 un estimado de 28.20 MMC/A (millones de metros cúbicos anuales)aproximadamente.

De los 363 sistemas, 361 corresponden a sistemas con fuentes subterráneas (342 pozos perforados y 19 pozos excavados) y solamente existen dentro de la cuenca 2 sistemas de abastecimiento con aguas superficiales.

En la cuenca existen 7 tipos de sistemas:

204 Pozos perforados equipados con bomba manual (PPEBM).

137 Mini acueductos por bombeo eléctrico (MABE).

13 Pozos excavados equipados con bomba manual (PEEBM).

2 Mini acueducto por gravedad (MAG).

4 Pozos excavados y equipados con bomba eléctrica (PEBE).

2 Pozos excavados y explotados manuales (PEM).

1 otro tipo de sistema.



Foto 22. PPEBM en Chacaraseca, León (con bomba manual Indian Mark II, muy común en la zona).



Foto 23. MABE Palo de Lapa, Telica.

El número de conexiones domiciliarias que abastecen estos sistemas de agua potable en toda la cuenca es 22,835.

Cabe señalar que existen CAPS en la cuenca con abastecimiento considerable en cantidad de viviendas, por ejemplo en el municipio de León, el CAPS ACOPADES (Asociación de Comité Pastoral para el Desarrollo Social) abastece 850 viviendas, con 3 pozos con capacidad instalada total de 30 HP de potencia en bombas eléctricas y 7 tanques de almacenamiento con capacidad total de 22,500 galones. El municipio de León es donde existe la mayor capacidad de explotación del recurso en la zona rural, administrado por medio de los CAPS, con pozos y bombas eléctricas.

Además existe una organización llamada Asociación para la promoción y desarrollo de los Comités de Agua Potable y Saneamiento (RED CAPS) que aglutina principalmente a 24 CAPS. En su mayoría son Mini Acueductos por Bombeo Eléctricos (MABE), sin embargo también existen CAPS que aglutinan solamente 20 viviendas y se abastecen por medio de pozos perforados con bombas manuales.

Para el año 2017, 29 de los 363 sistemas presentaban desperfectos de infraestructura en alguna de sus partes (líneas de conducción, almacenamiento o red de distribución), lo cual estaba afectando directamente el abastecimiento y 101 sistemas estaban en la categoría de regular estado, lo que afectaba de forma parcial el abastecimiento.

Cuando existe desabastecimiento, las personas que poseen pozos privados comparten el recurso, sin embargo esto no es suficiente y las alcaldías implementan un plan de abastecimiento con cisternas de ENACAL o propiedad de las alcaldías, llevando una cuota de agua por familia hasta donde exista acceso al transporte.

Los recursos económicos para el mantenimiento de los sistemas provienen de lo recaudado por los comunitarios, sin embargo la mayoría de los CAPS no poseen la capacidad financiera para resolver los daños significativos en la infraestructura, aún son dependientes de las alcaldías o de los proyectos con las instituciones del sector hídrico. Esto exime a los CAPS que abastecen a más de 200 viviendas, los cuales si están en el proceso de la búsqueda de la sostenibilidad, dado su capacidad de organización y administración.

En las cifras de los sistemas de abastecimiento no se incluyen pozos que se observan en las comunidades de esta cuenca de forma muy frecuente, en su mayoría son excavados (**foto 24**).

Se encuentran en viviendas o en fincas y que son utilizados de forma privada para el abastecimiento domiciliario y para labores agrícolas o pecuarias a menor escala. Estos pozos no están controlados en un inventario a detalle y los mismos sirven de abastecimiento a las viviendas cercanas en momentos de escases y han sido construidos con recursos propios de los comunitarios.

Este tipo de pozos son explotados a través de bombas de mecate, instalación de bombas eléctricas de menor capacidad (de 1 a 1.5 HP) o simplemente extraen el agua de forma manual (con poleas, mecates y baldes) (**foto 25**).

Debido al tipo de construcción de los pozos perforados, estos se encuentran sellados, porque se conecta directamente la tubería a la bomba que se instala en la parte superior o internamente se instala una bomba eléctrica sumergible. Este tipo de infraestructura también los protege de la contaminación por contacto con elementos externos. Los pozos excavados son los que generalmente se encuentran desprotegidos (abiertos), expuestos al contacto con elementos naturales del ambiente o malas prácticas humanas.



Foto 24. Pozo excavado, abastecimiento familiar, ubicado en Lechecuagos, León.



Foto 25. Pozo perforado, sellado y conectado a una bomba de mecate, ubicado en El Viejo.



Foto 26. Pozo excavado. Alta profundidad, comunidad El Tololar, León. Parte alta de la cuenca.

Los pozos excavados existentes en la zona, para su estabilidad, en algunas ocasiones son revestidos internamente con piedras canteras hasta cierta profundidad (5 m aproximadamente de revestimiento en los más profundos) (foto 26). En dependencia de la zona de la cuenca pueden tener profundidades considerables de más de 100 m (partes altas de la cuenca, actualmente ya no se acostumbra su construcción por excavación manual dada la profundidad) o pueden tener solo 10 m de profundidad (en la parte baja de la cuenca).



Foto 27. Pozo excavado, nivel freático somero, ubicado en la parte baja de la cuenca, en El Viejo.

En las partes altas de la cuenca se acostumbra a instalar bombas eléctricas de 1 a 2 Hp para la explotación, dado la profundidad del nivel freático y en las partes bajas de la cuenca, donde el nivel del agua puede ser muy somero (menos de 10 m) se acostumbra utilizar las bombas de mecate, bombas hidráulicas manuales o simplemente poleas con mecates y baldes (foto 27).

7.2 Suministro urbano

El suministro del agua potable en los sectores urbanos de la Cuenca 64 está a cargo de la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). Para el abastecimiento urbano de los 10 municipios que conforman la cuenca, ENACAL al 2015 contaba con 41 pozos, que en su conjunto produjeron para ese año 48.77 aproximadamente MMC/A⁹, para atender la demanda de 78,054 conexiones registradas que representan a un total 399,627 usuarios en las zonas urbanas dentro del área de la cuenca.



Foto 28. Tanque de almacenamiento de ENACAL en El Viejo.

Generalmente estos pozos poseen una capacidad instalada de bombeo eléctrico con potencias de 7.5 hasta 75 HP, con una producción que va desde 0.37 m³/min hasta 4.73m³/min aproximadamente (promedio 3.23 m³/min).

De acuerdo a los archivos de perfiles litológicos y diseños de los pozos de esta cuenca, el diámetro es de promedio 298.45 mm de ancho, la profundidad total promedio de perforación es de 110 m (con rangos de 76 a 200 m, de acuerdo a la zona donde se perfore)¹⁰. Los tanques de almacenamiento son de 30,000 gal de capacidad en promedio (foto 28).

⁹Datos producción ENACAL 2015, Base de Datos Hídrica (BDH C64).

¹⁰Información de ENACAL para la Base de Datos Hídrica de la Cuenca 64, (2015-2016) PROATAS: Perfiles litológicos y diseños de pozos para la cuenca 64, de 2009 al 2015.

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Debido a las propiedades del acuífero, el abastecimiento de los sectores urbanos en esta cuenca está considerado solamente por la perforación de pozos.

Las conexiones abastecidas con la producción mencionada, se distribuyen en la cuenca de la siguiente manera (**Tabla 44**):

Tabla 44. Cantidad de conexiones por municipio dentro de la Cuenca 64

Ítem	Municipios	Población Cantidades	Conexiones Cantidades	Total Viviendas	Cobertura %
1	León	174,549	31,721	35,246	90
2	La Paz Centro	16,400	3,766	3,766	100
3	Telica	6,380	1,308	1,308	100
4	Quezalguaque	1,827	431	431	100
5	Chinandega	94,498	20,044	20,044	100
6	Chichigalpa	39,451	7,773	8,013	97
7	Corinto	18,016	4,211	4,211	100
8	El Realejo	4,517	893	950	94
9	El Viejo	41,031	6,999	7,446	94
10	Posoltega	2,958	908	908	100
	Total	399,627	78,054	82,323	95

Fuente: ENACAL 2017

El municipio de **León** es el que refleja mayor concentración de población y por tanto mayor cantidad de conexiones de agua potable. Durante el proceso de elaboración de este documento, ENACAL con asesoría del PROATAS-GIZ revisa los datos para el cálculo de la tasa de agua no facturada por municipio, lo cual representa un factor influenciado por daños en la infraestructura (fugas), vacíos en la medición y/o la existencia de conexiones ilegales.

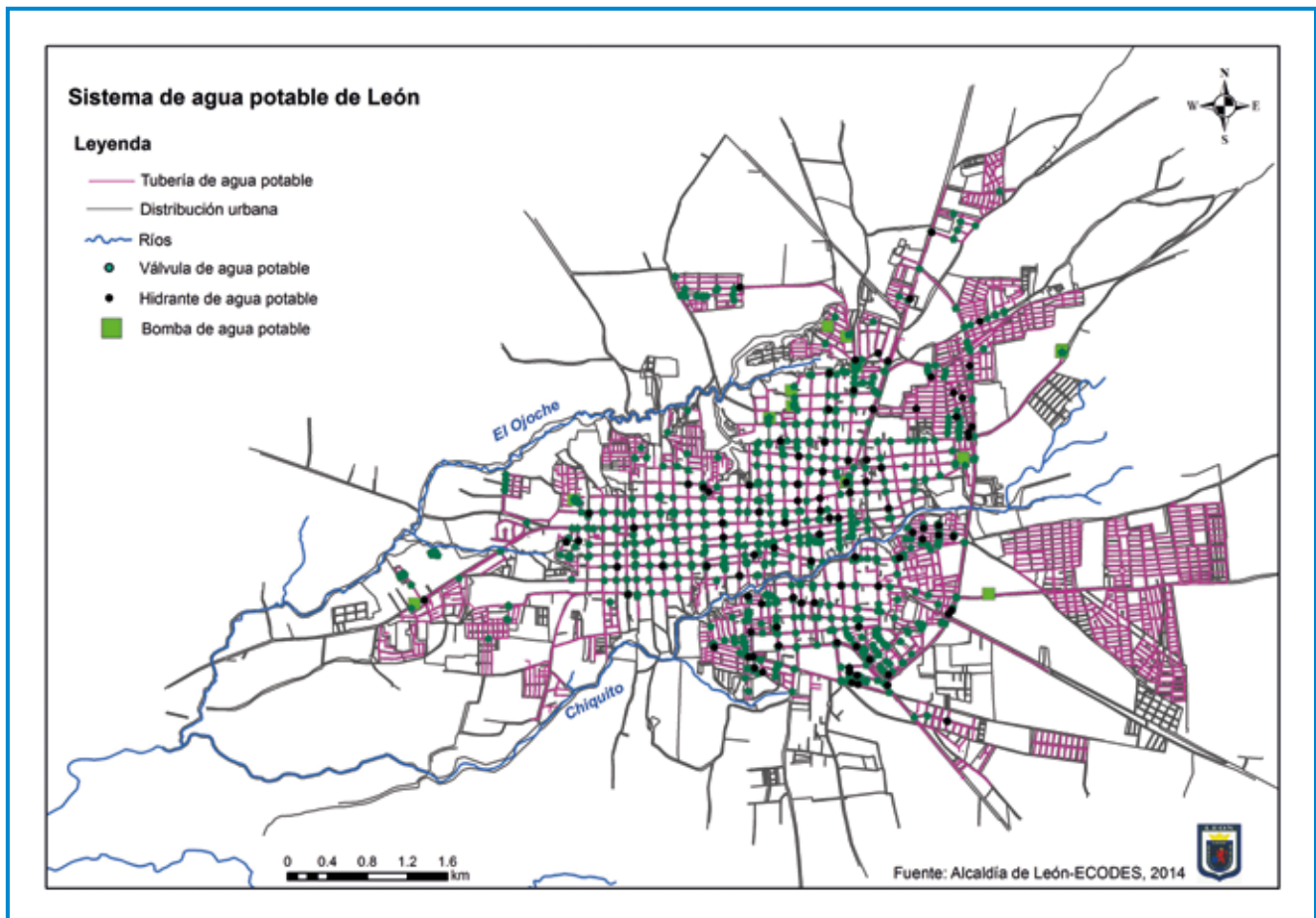
Las coberturas en general en todos los municipios de la cuenca son muy buenas. El sistema de agua potable de ENACAL León a como se observa en el siguiente plano, abastece todo el sector urbano del municipio a través de 15 pozos perforados ubicados en sitios dispersos (**figura 71**).

El sistema de abastecimiento de León, posee una red de hidrantes en la parte céntrica de la ciudad para el sistema de prevención y atención de incendios o emergencias.

La segunda ciudad más grande de la cuenca es **Chinandega**, con 20,044 conexiones para el suministro de agua potable por parte de ENACAL en el área urbana, lo cual proveen a través de 8 pozos perforados. El servicio abastece toda la ciudad en su parte alta y baja.

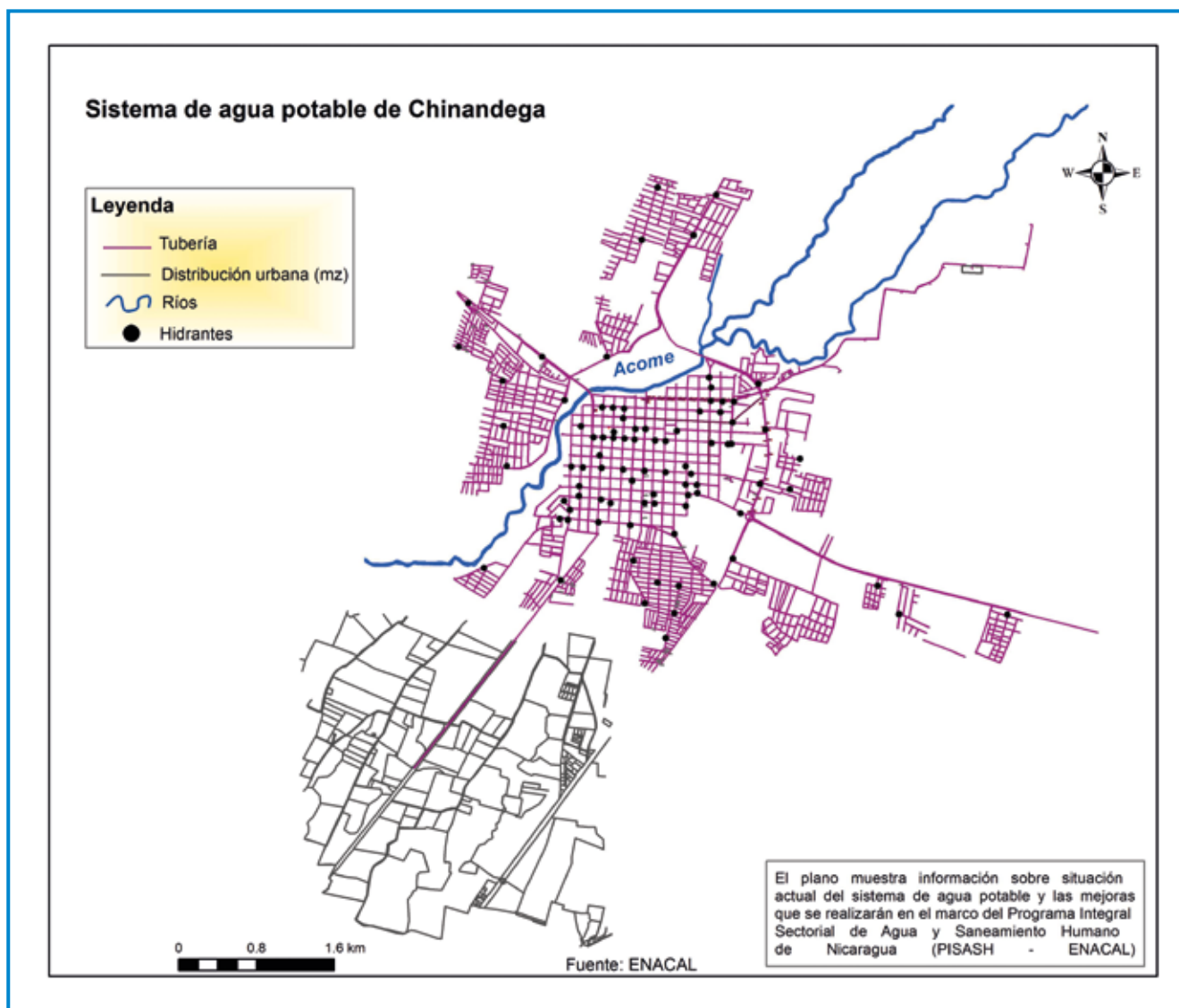
Para Chinandega, el Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano (PISASH) que implementa ENACAL, ejecutó en el año 2017, obras de fortalecimiento del sistema de abastecimiento, reemplazando gran parte de la tubería de distribución, perforación de más pozos y de hidrantes en mal estado.

Figura 71. Plano del sistema de abastecimiento de agua potable de León



La **figura 72** muestra que la ciudad de Chinandega tiene una cobertura completa por parte del servicio de ENACAL (en la parte alta y baja de la ciudad), además muestra el estado de la infraestructura incluyendo las obras que contempla ejecutar ENACAL a través del programa PISASH. En el centro de la ciudad se reemplazarán los hidrantes en mal estado, quedando el centro del comercio cubierto de este sistema de prevención y atención de incendios o emergencias.

Figura 72. Plano del sistema de abastecimiento de agua potable de Chinandega



En el año 2017, para las ciudades de **Corinto** y **el Viejo**, el PISASH está formulando proyectos para mejorar y ampliar la capacidad del servicio de agua potable.

En el caso del municipio de Chichigalpa durante la redacción de este informe se encontraba en proceso la perforación de 3 pozos para reemplazar con igual número la infraestructura en mal estado, quedando nuevamente con la capacidad instalada actual de 4 pozos para abastecer el sector urbano, además se pretende realizar el reemplazo de tanques de almacenamientos.

En la parte de La Paz Centro que se sitúa dentro del área de la cuenca se ubican 3 pozos de la red de abastecimiento de ENACAL, en Telica 1, en Quezalaguaque 1, en Posoltega se encuentran 2 pozos (uno sin explotar porque la bomba está en mal estado), en el municipio de El Viejo hay 5 pozos, en Corinto y en el Realejo hay 1 pozo en cada municipio.

El Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento (PROATAS - GIZ), se encuentra dando asistencia técnica a las delegaciones de ENACAL en los siguientes municipios ubicados dentro de la cuenca: León, Chinandega, Chichigalpa, El Viejo y Corinto en los temas de eficiencia comercial, operación y mantenimiento y atención a la reducción del agua no facturada (ANF). Entre sus indicadores principales están los siguientes;

1. La continuidad del servicio de agua potable para la población en las filiales de ENACAL donde hay nueva infraestructura financiada por el PISASH, ha aumentado el servicio de 6 a 20 horas al día.
2. La calidad bacteriológica del agua distribuida es satisfactoria en 95% de las muestras tomadas de cloro residual en la red.
3. Las presiones del agua en los nuevos sistemas se mantienen conforme a las modelaciones hidráulicas.
4. El Agua No Facturada se ha reducido de 55% a 42%.

Siendo el indicador No. 4, el primer objetivo estratégico de ENACAL del cual se derivan el resto de indicadores. El agua no facturada (ANF) corresponde a todas las pérdidas técnicas y comerciales que tiene la empresa en sus redes de conducción y distribución.

Medidas y acciones tomadas para la reducción del ANF implementadas:

- Calibración de macro medidores de las fuentes para conocer los datos exactos de producción (se logró la reducción de más de 900 m³ que estaban sobrerregistrados).
- Actualización del catastro de usuarios que permita la reducción de ilegales.
- Apoyo en los planes de instalación de macro medidores y micro medidores.
- Reducido el ANF de 51.91% (Línea base-diciembre 2015) a 48.87% (nov 2017) en el departamento de Chinandega y de 57.36% (Línea base-dic 2015) a 53% (nov 2017) en el departamento de León.
- Monitoreadas las presiones en los sectores con mayor fugas.

- Mejorada la continuidad del servicio de agua potable en sectores con problemas de abastecimiento.
- Implementación de plan de detección de fugas y re categorización de usuarios.
- Monitorear el funcionamiento de los micros sectores entregados por el proyecto PISASH en las filiales de Chichigalpa y Chinandega.

Desafíos a abril 2018:

- Con la reducción del ANF se pretende recuperar más de 1400 m³ (en las delegaciones de León y Chinandega) lo cual permitiría brindar el servicio de agua potable a nuevos usuarios.
- Implementar protocolos de operación en los sistemas de bombeo que permitan reducir las horas de bombeos.
- Reducir las pérdidas de agua al operar los micros sectores correctamente a la hora de reparar fugas y realizar trabajos técnicos en las redes.

- El volumen total del suministro del agua potable para la población de la Cuenca 64 en el año 2015, se calculó en 76.98 MMC/A según datos de ENACAL (2015) y FISE (SIASAR) al 2017.
- De lo anterior, el 63.36% fue suministrado por ENACAL en los sectores urbanos de la cuenca y el restante 36.64% fue suministrado a través de los sistemas administrados por los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) en las zonas rurales.
- La cantidad de sistemas de agua potable para el abastecimiento rural era de 363 al 2017. En su mayoría corresponden a pozos perforados equipados con bomba manual (PPEBM), seguidos de los Mini acueductos por bombeo eléctrico (MABE).
- Al 2015 ENACAL abastecía los sectores urbanos de la cuenca con 41 pozos perforados y equipados con bombas de 7.5 a 75 HP.
- La cantidad total de conexiones registradas es 100,889, de la cual ENACAL posee el 77.36 % en la cuenca equivalentes a 78,054.
- Los CAPS administran el 22.64% (equivalentes a 22,835 conexiones) del total de las conexiones existentes en la cuenca al 2017.
- Según el SIASAR, la mayoría de la infraestructura de los sistemas rurales se encontraban entre la categoría de regular y buena.
- El mayor reto para el abastecimiento por parte de ENACAL, ocurre en las grandes ciudades de León y Chinandega, donde los problemas de infraestructura se presentan más constantes y donde existen la mayor cantidad de usuarios.
- El Agua No Facturada (ANF) en los municipios dentro de la cuenca es un factor que representa un reto considerable para la gestión de ENACAL. El ANF contempla pérdidas físicas por rupturas y daños en la infraestructura (fugas), los vacíos en la medición y las conexiones ilegales.

8. Situación de las aguas residuales

El actual manejo de los desechos líquidos (vertidos, aguas servidas, aguas grises y/o aguas negras) en la cuenca 64, representa una gran amenaza para la conservación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

De los 10 municipios que forman parte de la cuenca, solamente León, La Paz Centro, Chinandega, Chichigalpa, Corinto y El Viejo, tienen servicios de alcantarillado sanitario. En la **tabla 45** podemos observar la situación de la cobertura del servicio bajo la instalación plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la Cuenca 64:

Tabla 45. Descripción de conexiones de alcantarillado sanitario en la Cuenca 64

Municipios	Población	Conexiones alcantarillado	Viviendas	(PTAR)
León	174,549	21,722	35,246	Sutiava, el Cocal, San Isidro y San Carlos
La Paz Centro	16,400	1,168	3,766	La Paz Centro
Chinandega	94,498	12,687	20,044	Roberto González y el Cementerio
Chichigalpa	39,451	3,479	8,013	Chichigalpa
Corinto	18,016	1,476	4,211	Estación de bombeo de aguas residuales
El Viejo	41,031	1,941	7,446	El Viejo
Totales	383,945	42,473	78,726	

La cobertura general del servicio de alcantarillado en las zonas urbanas de los seis municipios es del 54%, para lo cual ENACAL posee 9 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) operando y una estación de bombeo de aguas residuales a través de un emisario al mar, instalada en Corinto (Pozo Húmedo). En los cuatro municipios restantes de la cuenca donde no se presta el servicio, la disposición de heces fecales se realiza por medio de letrinas y en el mejor de los casos por sistemas con arrastre hidráulicos (inodoros) conectados a fosas sépticas domiciliarias y/o sumideros para la infiltración en el subsuelo. En las zonas rurales de la cuenca se utiliza considerablemente las letrinas (para lo cual existen varios tipos de diseños) y en menor proporción se utilizan los sistemas de arrastre hidráulicos.

En el siguiente **mapa (21)** se puede observar la distribución de las PTAR en los 6 municipios de la cuenca donde ENACAL brinda el servicio de alcantarillado sanitario:

En cuanto a las aguas servidas (aguas grises generadas por las labores domésticas) de las viviendas que no están conectadas al sistema de alcan-

tarillado o las que no infiltran las mismas en el subsuelo, las vierten en las cunetas y canales del drenaje pluvial por donde corren hasta desembocar en cauces, quebradas y ríos. Lo mismo sucede con las aguas servidas de las viviendas ubicadas en los municipios donde si existe sistema de alcantarillado sanitario, pero que la red actual no logra darles cobertura, como suele suceder en los barrios de la periferia urbana.

A esta situación hay que sumar que viviendas, granjas, industrias y establecimientos comerciales ubicados a orillas de los ríos, descargan sus aguas residuales directamente a los cuerpos de agua, como es el caso del río Chiquito, en la ciudad de León y el río Acome en la ciudad de Chinandega. También es importante mencionar que la mayor carga contaminante difusa de fertilizantes proviene de las actividades agropecuarias; tales como: nitrógeno total, fósforo total y sólidos en suspensión totales que tienen su origen de las aguas residuales domésticas no tratadas. Todavía no existen datos específicos sobre la cantidad de carga contaminante producida en la cuenca 64, sólo algunas plantas de tratamiento de agua residual de ENACAL cuentan con datos alternos de carga contaminante.

Durante una visita realizada a todos los municipios de la cuenca en diciembre 2016, se identificaron 25 sitios que presentaban las condiciones descritas anteriormente, (lo cual será descrito más adelante por cada municipio) y como resultado del levantamiento de información, se elaboró el mapa de afluentes para una mejor comprensión de esta problemática (**mapa 22**).

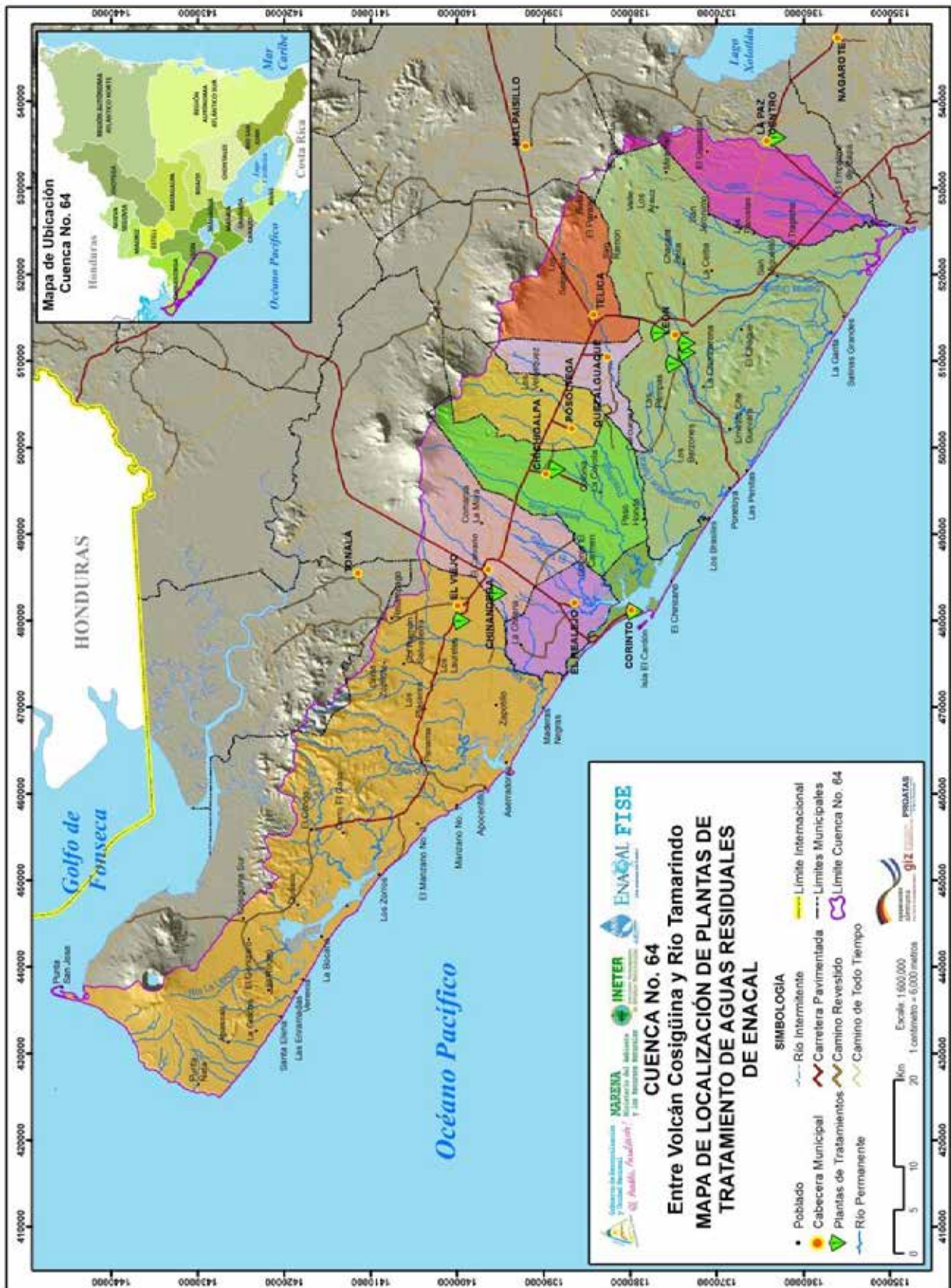
PROATAS¹¹ en coordinación con MARENA también realizó un diagnóstico sobre las aguas residuales de las empresas o industrias instaladas en los municipios de la Cuenca 64. Se encontraron un total de 25 empresas con PTAR, con su debida autorización, producto de un inventario realizado por este ministerio hasta 2017. Este es un aspecto muy positivo en el manejo responsable de las aguas residuales, pero además representa un reto importante para el MARENA de establecer una rutina de monitoreo de la calidad de las aguas tratadas y vertidas por estas empresas de manera constante (**ver anexo tabla 1.5**).

ENACAL como empresa generadora de vertidos municipales de origen doméstico maneja actualmente distintos tipos de tecnologías tales como: Sistema Lagunar, Filtro Percolador, UASB+ Desinfección, RALF + MacrofitasT y Imhoff + Biofiltro. También realiza mediciones diarias de caudal en 11 PTAR de León y Chinandega.

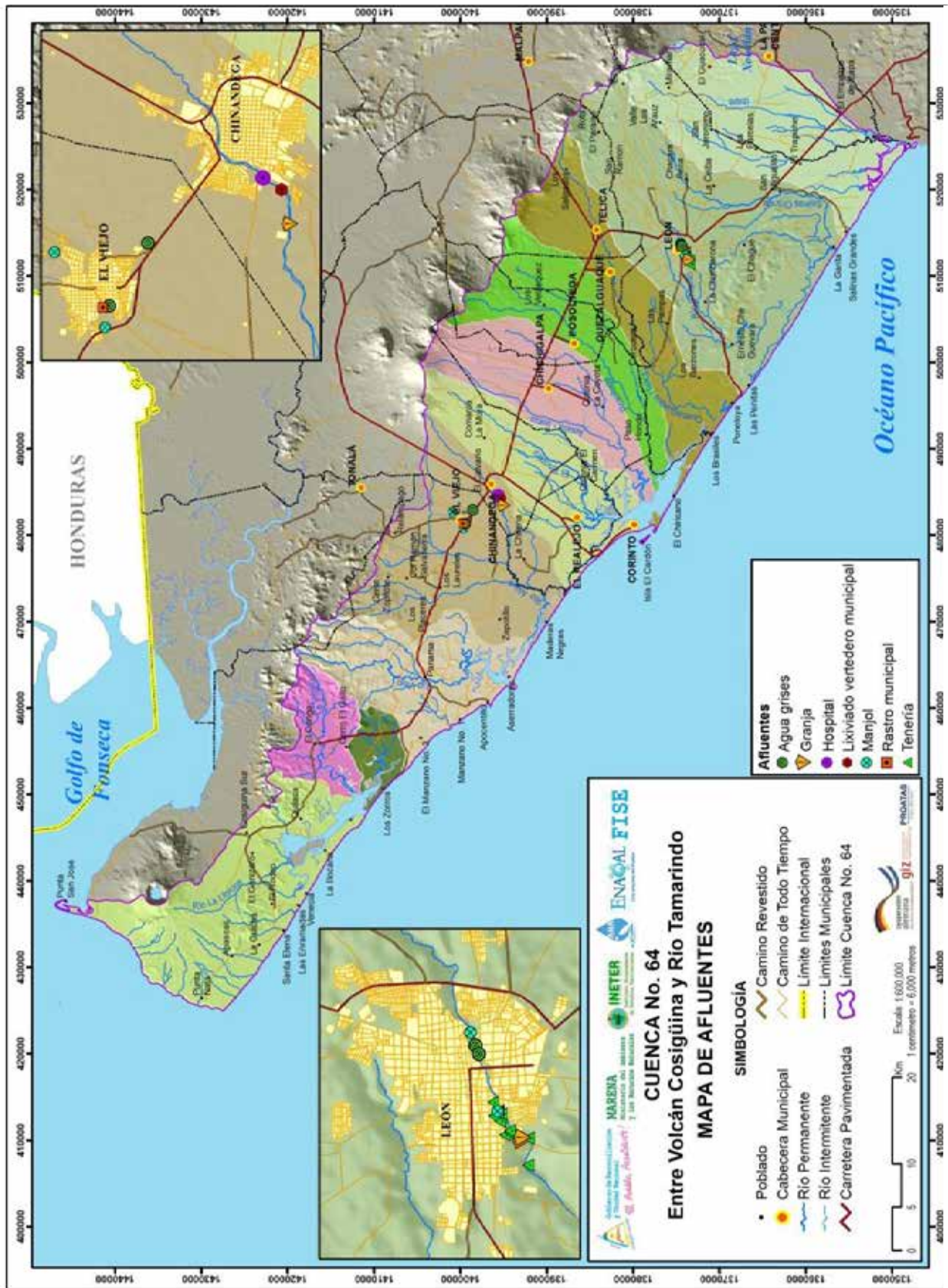
El caudal total medido (descargas) en 2017 de dichas plantas es 17.6 MMC, este valor debe entenderse como el total de agua residual tratada por ENACAL. Para poder conocer la cantidad total de agua residual en la cuenca 64 es necesario obtener el valor del efluente residual tratado (pluvial, municipal e industrial) por PTAR privadas y el complemento de agua residual no tratada (pluvial, municipal e industrial), aunque actualmente no se encuentra un inventario con datos de los sitios con aguas tratadas y no tratadas.

¹¹PROATAS: Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento con financiamiento de la Cooperación Alemana a través de la GIZ.

Mapa 21. Localización de plantas de tratamiento de ENACAL



Mapa 22. Localización de afluentes dentro de la Cuenca 64



fuente: PROATAS-C2-GIZ, sitios inspeccionados en coordinación con las unidades ambientales de 1. alcaldías de la cuenca (diciembre, 2016).

En general los sistemas de alcantarillado sanitario enfrentan dificultades para un adecuado funcionamiento, como consecuencia de una inapropiada utilización del servicio por una parte de los usuarios que vierten desechos sólidos (basura) al sistema desde sus viviendas. En muchos casos una buena parte del drenaje pluvial domiciliario es introducido a la red de servicio sanitario. Por otra parte el deterioro y la falta de tapas en manjoles permite ingreso de escorrentía pluvial y desechos sólidos. La situación se agudiza particularmente en la época lluviosa con el atasco de las obras colectoras que provocan el desbordamiento de aguas crudas de manjoles que se vierten sobre las calles y la capacidad de atención por parte del prestador del servicio no es suficiente para atender en su totalidad la problemática presentada.

Inevitablemente el rebose de aguas no tratadas de las alcantarillas y manjoles son conducidas de manera natural hacia los cuerpos de agua ubicados en su entorno y aguas abajo, se suman graves problemas para la circulación y manejo del caudal en las PTAR de ENACAL el volumen de aguas pluviales inadecuadamente conectadas o drenadas por el sistema de alcantarillado. Tal eventualidad provoca que la capacidad instalada en las PTAR se supere, pues allí solamente deberían colectarse aguas servidas y no pluviales.

El sistema de drenaje pluvial por la topografía del municipio, se encuentra concentrado en su mayoría en el sector sureste de la ciudad (Centro Histórico) (**figura 73**). De forma casi paralela al río Chiquito (aguas arriba), la PTAR Sutiava que se ubica en la parte suroeste de la ciudad (aguas abajo) está recibiendo parte de ese caudal con sedimentos y desechos sólidos; debido al mal manejo del drenaje en las viviendas y a su ubicación muy vulnerable a las inundaciones (ver **figura 74** del sistema de alcantarillado de León). El desarrollo de la ciudad de forma paralela al cauce del río Chiquito, desde el punto de vista de este diagnóstico de los recursos hídricos, aumenta la vulnerabilidad a la contaminación de este recurso superficial.

Figura 73. Sistema de drenaje de pluvial de León

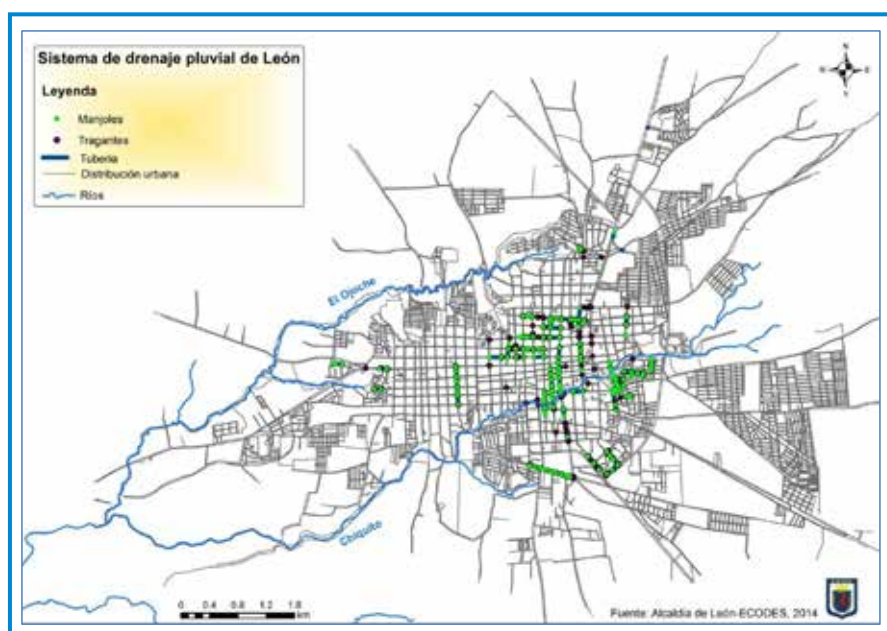
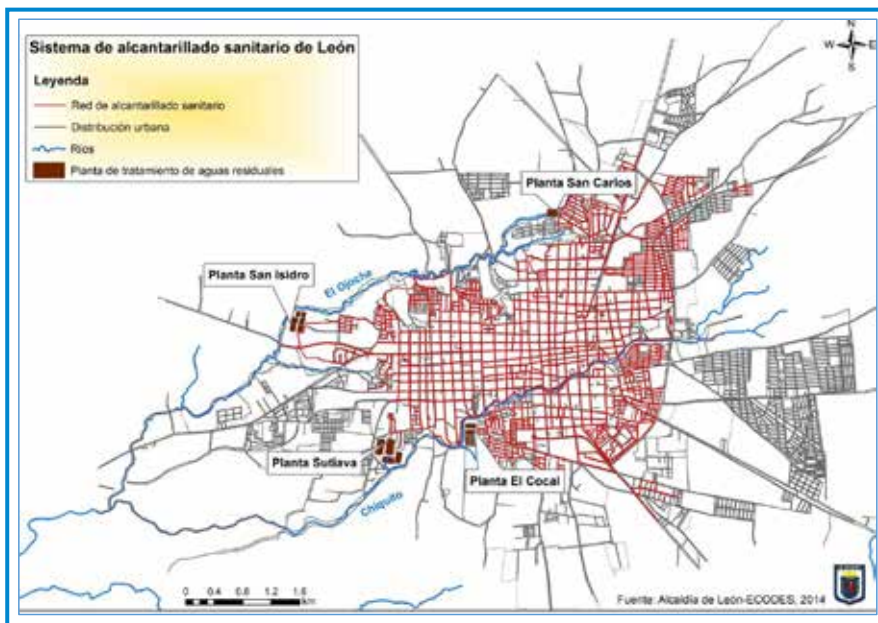


Figura 74. Sistema de alcantarillado sanitario de León:



Podemos observar en el plano que las plantas San Carlos y San Isidro son menos vulnerables a la sedimentación en comparación con las otras ubicadas en las zonas bajas de León, esto nos las exige que recepcionen desechos sólidos por el mal manejo del sistema de alcantarillado por parte de los usuarios.

El municipio de **Corinto** cuenta con alcantarillado sanitario que da cobertura al 100% del casco urbano, las aguas residuales crudas son conducidas hacia un pozo húmedo (coordenadas 16P 481029 1379500), desde donde se bombea directamente hacia el litoral (**foto 29**).



Foto 29. Estación de bombeo de aguas residuales en Corinto.

En **Chinandega**, el principal cuerpo de agua contaminado es el Río Acome, que recibe primero una probable fuente de contaminación, representada por el sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital España (coordenadas 16P 484591 1395656), ubicado en la margen oeste, donde no se pudo confirmar, si se hace o no, un monitoreo continuo sobre la inocuidad de sus efluentes.

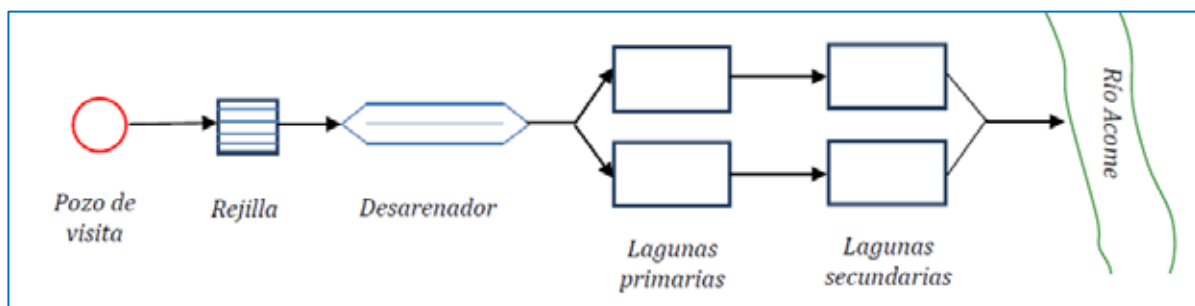
Luego a un poco más de 100 m al sur, sobre el curso del río en la margen este inicia el predio del vertedero municipal (coordenadas 16P 484301 1395192), donde sus lixiviados son la principal fuente de contaminación. A lo largo de 760 m donde caen constantemente desechos al curso del río, a falta de barreras de contención y no existen tampoco trincheras para el manejo de los desechos líquidos. Estos puntos están incluidos en el mapa de afluentes.

Es evidente y alarmante la descarga de aguas residuales producidas por el rastro municipal, las que no tienen ningún tipo de tratamiento y se vierten a este mismo cuerpo receptor.

Otro posible peligro lo representa la **planta de tratamiento de aguas residuales El Cementerio** (coordenadas 16P 484650 1395143), la cual dispone de pretratamiento con una rejilla y un desarenador, el tratamiento secundario está compuesta por dos módulos de lagunas de estabilización dispuestas en serie, cada uno con laguna primaria y secundaria.

En esta PTAR se trata la mayor cantidad de aguas residuales generadas en la ciudad, requiere de limpieza de lodos en el corto plazo y llevar el sistema a la condición original para mejorar el efluente, (**figura 75**).

Figura 75. Esquema planta de tratamiento de aguas residuales El Cementerio



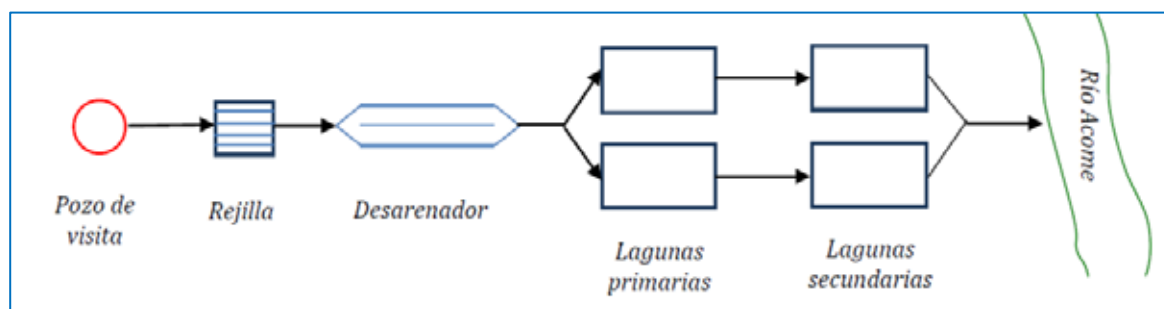
En una de las lagunas primarias se observa gran cantidad de sedimentos, lo que le resta capacidad de almacenamiento. En la otra, que aún está funcionando, similar a un humedal, se pueden apreciar plantas macrófitas flotantes (plantas acuáticas) y gran variedad de malezas, que seguramente disminuyen su efectividad (**foto 30**).



Foto 30. Vista panorámica de una de las lagunas de estabilización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ENACAL El Cementerio, Chinandega.

La granja porcina del Sr. Javier Pérez Montealegre se encuentra a unos 750 m al oeste, (coordenadas 16P 483422 1394970) cuyas aguas negras descargan directamente al río (ver mapa de afluentes). Por último, un poco más al oeste, desembocan las aguas tratadas de la **planta de tratamiento de aguas residuales Roberto González** (16P 483106 1395292) (figura 76).

Figura 76. Esquema del Sistema de Tratamiento PTAR Roberto González, Chinandega.



El sistema está compuesto por dos módulos de lagunas de estabilización dispuestos en paralelo, cada uno con lagunas primaria y secundaria respectivamente. Las aguas tratadas circulan a través de una rejilla, luego al desarenador, lagunas de estabilización, hasta desembocar en el río Acome).

En el municipio de **El Viejo**, una de las fuentes de contaminación es el manjol ubicado cerca del puente Miguel Espinales (coordenadas 16P 480845 1399614), cuya obstrucción obliga a las aguas negras a circular sobre el drenaje pluvial hasta desembocar sobre el río El Viejo (**foto 31**).



Foto 31. Personal de ENACAL eliminando la obstrucción del manjol ubicado cerca del Puente Miguel Espinales.

Obsérvese como el afluente se vierte sobre el sistema de drenaje pluvial, para desembocar luego, sobre el río El Viejo.

Caso similar es el del manjol que colecta las aguas servidas del residencial Villa España (coordenadas 16P 482734 1400892), que lleva más de 4 años en mal estado y que derrama sus aguas sobre el drenaje pluvial, hasta el río.

Otro foco de contaminación son las aguas grises domiciliarias del Barrio Hermanos Real Espinales, que circulan sobre las cunetas hasta confluir sobre un canal de drenaje pluvial (coordenadas 16P 481387 1399508) y desembocar en el mismo río, El Viejo.

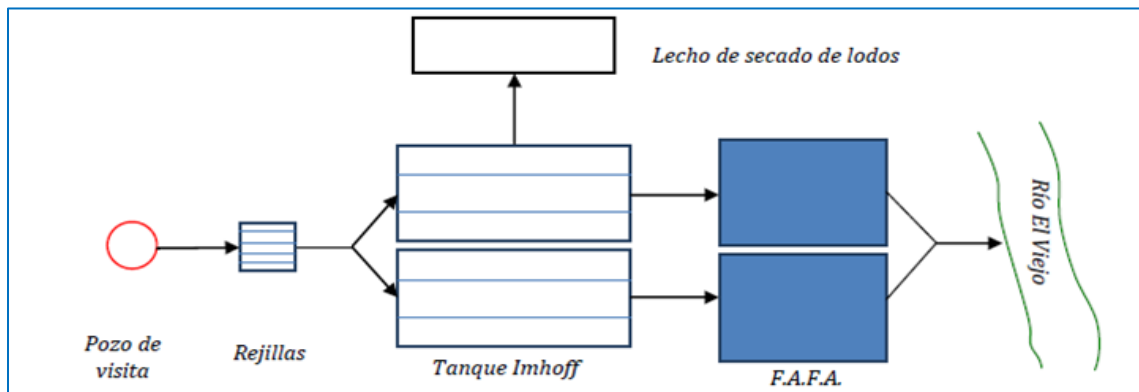
La desembocadura de aguas residuales bajo el puente río Chiquito (coordenadas 16P 482963 1398535) es otro sitio de contaminación que a su vez caen sobre el río del mismo nombre y donde aún no se comprueba si obedecen a desechos líquidos de la planta procesadora de Mariscos Salhman Seafood (coordenadas 16P 482760 1398817) o aguas grises domiciliarias, provenientes del barrio Narciso Zepeda o la comunidad Panca-sán, ubicados en las proximidades.

La planta de tratamiento de aguas residuales El Viejo (coordenadas 16P 479910 1399437) vierte sus efluentes sobre el río El Viejo y también podría ser otra fuente de contaminación. El sistema está compuesto por dos módulos de tratamiento que operan en paralelo, cada módulo está compuesto por tanques Imhoff seguido por Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (nombre común FAFA)–(figura 77 y foto 32).



Foto 32. Reactores anaeróbicos (Tanques Imhoff) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Viejo. ENACAL, El Viejo.

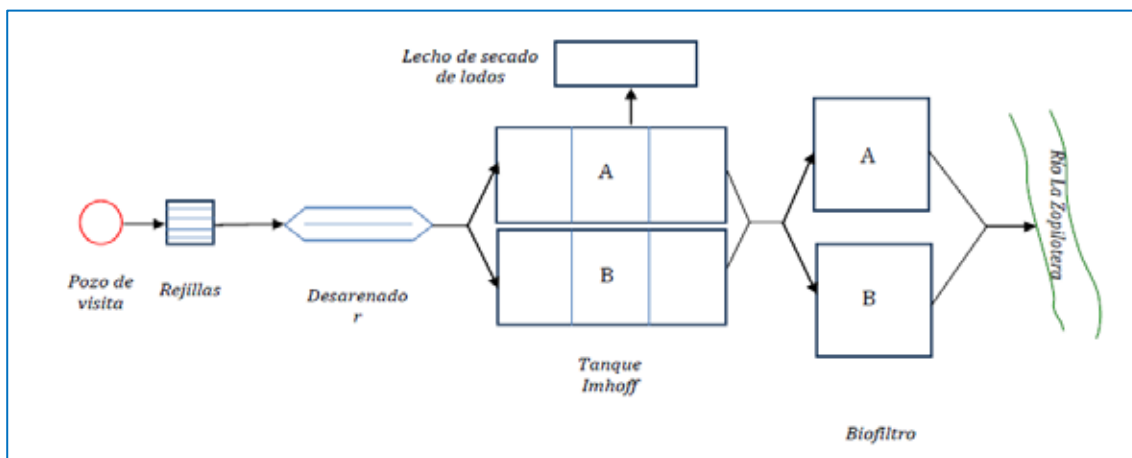
Figura 77. Esquema del Sistema de Tratamiento PTAR El Viejo, Chinandega.



Por último, se encuentra el rastro municipal como un foco más de contaminación, (coordenadas 16P 481340 1399667) sobre el mismo río El Viejo, donde las aguas residuales son vertidas sin ningún tratamiento y donde pueden observarse todo tipo de material biológico, proveniente de los desechos en corrales y salas de sacrificio. Estas instalaciones próximamente serán clausuradas y trasladadas a un nuevo sitio, ya definido por la alcaldía municipal, en un plazo no mayor de 6 meses.

En **Chichigalpa**, la única probable fuente de contaminación sobre el río La Zopilotería lo constituye la **planta de tratamiento de aguas residuales Chichigalpa** (coordenadas 16P 497398 1388468). El tratamiento primario consiste en dos tanques con reactor anaeróbico (Tanque Imhoff) para recepción y tratamiento y dos biofiltros como tratamiento secundario (figura 78).

Figura 78. Esquema del Sistema de Tratamiento PTAR Chichigalpa, Chichigalpa.



El afluente transita primero a través de una rejilla de retención de sólidos, luego por un desarenador, dos tanques Imhoff con flujo paralelo que confluyen antes de llegar a los biofiltros, para verter por último al río Zopiloteria. También cuenta con una pila de secado de lodos (**foto 33**). El único biofiltro que opera se encuentra en malas condiciones, pues han perdido cobertura vegetal y se encuentra enmalezado requiriendo su rehabilitación.

El otro biofiltro existente nunca fue puesto en operación y requiere su habilitación para atender las aguas residuales producidas por la ciudad. Otro problema que se observa en la planta son los desechos sólidos que tiran sobre el predio y los canales, los pobladores asentados en el perímetro.



Foto 33. Vista panorámica de dos tanques Imhoff con flujo paralelo, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Chichigalpa. ENACAL, Chichigalpa.

En **León** es el río Chiquito, el que más contaminantes recibe, principalmente desde los manjoles y tuberías de aguas negras deterioradas, pero también desde vertidos que directamente se depositan sobre el lecho del río (**foto 34**). Durante el diagnóstico se pudo comprobar que en el mes de noviembre 2016, recién concluida la temporada de lluvias, todo el caudal del río Chiquito corresponde a aguas servidas solamente.

El primer foco de contaminación, corresponde al manjole ubicado detrás del Centro de Iniciativas Medio Ambientales (CIMAC) a orillas del río (16P 513909 1374482) donde por un inadecuado mantenimiento de los colectores, las aguas negras se rebasan desde hace más de 4 años, descendiendo directamente al curso del río.



Foto 34. Drenaje de aguas servidas sin tratar vertidas al río Chiquito.

Además se encuentra la desembocadura de aguas pluviales bajo el puente Los Martínez (coordenadas 16P 513663 1374393) donde se canalizan aguas grises provenientes de las viviendas y comercios ubicados en las calles aledañas. De manera similar, se comporta la salida del canal de desagüe pluvial del puente 35 Aniversario (coordenadas 16P 513501 1374320), situación que aparentemente marca una tendencia, para el resto de puentes vehiculares ubicados a lo largo del río (hacia el oeste de la ciudad).

Los efluentes de las tenerías o industrias del cuero son otra fuente de contaminación, ubicadas a lo largo del río y entre cuyos residuos se encuentran sustancias como sulfuro, cromo, amonio, sulfatos y nitratos, utilizados para el tratamiento de las pieles, (comentario basado en información general de la tesis: Strategy for the implementation of Decentralised Wastewater Treatment Systems* for industrial effluents in León (Nicaragua, by Clara Rodríguez Area, Defended April 28, 2015. Resource Efficiency in Architecture and Planning (REAP), Hafencity University Hamburg, el cual es un estudio puntual sobre los efluentes de las tenerías en León).

Entre las principales podemos mencionar: tenería Bataan S.A: (coordenadas 16P 512398 1373944) actualmente inactiva. Un pequeño taller de curtido de pieles (coordenadas 16P 512359 1373957), surgido a partir de la suspensión de actividades de la misma tenería Bataan. Entre estas dos, también se encuentra un manjól en mal estado, que vierte sus aguas al río (coordenadas 16P 512391 1373957).

La tenería Los Caporales (coordenadas 16P 511869 1373370) y la tenería La Sutiava (coordenadas 16P 511972 1373725 y 16P 512019 1373733) vuelcan sus aguas residuales sobre la trayectoria del río Chiquito.

También se encuentra la granja porcina (coordenadas 16P 511877 1373476) que mantiene su tubería de desechos orgánicos, también sobre el río (**foto 35**).

Otras fuentes de contaminación identificadas en el año 2015, que ameritan ser monitoreadas, especialmente si no están incluidas ya en el anterior listado, aparecen en la **tabla 46**. Estos afluentes fueron ubicados y documentados durante un estudio realizado previo a la construcción de la planta descentralizada de tratamiento de aguas residuales en el matadero de León, que actualmente es



Foto 35. Drenaje de aguas de granja porcina sin tratar, vertidas en el río Chiquito, noviembre 2016.

asesorada por BORDA (Bremen Overseas Research and Development Association) y la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería)¹².

El modelo de gestión de estas instalaciones, seguramente es el mejor y más completo ejemplo, sobre el correcto tratamiento y posterior uso de aguas residuales, que pudiera promoverse y replicarse en toda la cuenca 64, sino es que, en todo el país.

Tabla 46. Efluentes vertidos sobre el río Chiquito, León. (Rodríguez, 2015).

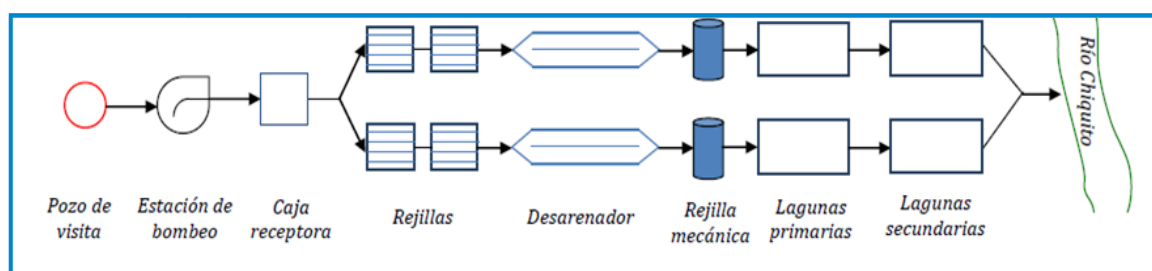
Nombre	Coordenadas			
	Geográficas		UTM (WGS84 16P)	
	Latitud	Longitud	X	Y
Tenería El Águila	12.429550	-86.884400	512564	1374056
Tenería Farasón	12.427472	-86.890119	511942	1373826
Tenería Centroamericana	12.429490	-86.886800	512303	1374049
Tenería Urcuyo	12.428110	-86.887830	512191	1373896
Tenería Teguesa	12.428350	-86.887770	512198	1373923
Tenería Bravo / Esperanza	12.428000	-86.886440	512342	1373884
Granja Porcina San Pedro	12.424544	-86.891290	511815	1373502
Tenería Coop. Carlos Alvarado	12.423484	-86.895591	511348	1373385

Por último, los efluentes de las PTAR de ENACAL también podrían representar fuentes de contaminación.

La principal es la **planta de tratamiento de aguas residuales Sutiava** (coordenadas 16P 510892 1373465), que cuenta con dos módulos paralelos de lagunas de estabilización facultativas, cada módulo está compuesto por una laguna primaria y secundarias dispuestas en serie (**figura 79**).

En cada módulo fluyen las aguas servidas colectadas en una caja receptora, desde donde se dividen hacia las rejillas manuales, luego al desarenador, rejilla mecánica, para luego pasar al sistema de lagunas, antes de desembocar sobre el río Chiquito. Cabe destacar que el equipamiento mecanizado está fuera de servicio.

Figura 79. Esquema del sistema de tratamiento de la PTAR Sutiava, León.



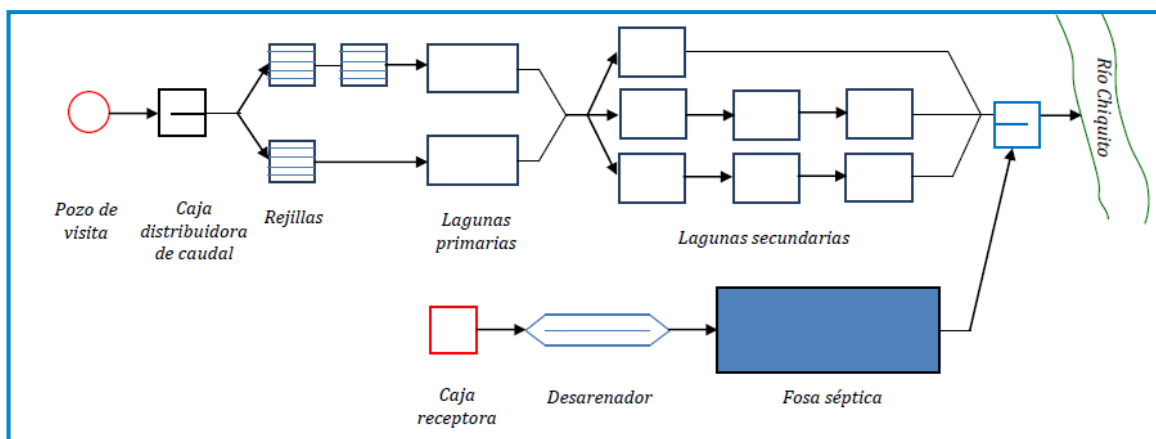
¹²Rodríguez C. 2015. Strategy for the implementation of DEWATS* for industrial effluents in León (Nicaragua). Resource Efficiency in Architecture and Planning (REAP), Hafencity University Hamburg.

* Decentralised Wastewatertreatment System.

La **planta de tratamiento de aguas residuales El Cocal** (coordenadas 16P 512019 1373466) cuenta con lagunas de estabilización primarias y secundarias para tratar los residuos antes de ser liberados sobre el río (**figura 80**).

El sistema de tratamiento consta de dos lagunas primarias y tres módulos de lagunas secundarias que colectan las aguas pre-tratadas en un sistema de rejillas, colocadas antes de cada una de las lagunas primarias. Cercano al punto de descarga de la planta se encuentra una fosa séptica que colecta las aguas servidas de un reparto ubicado en las proximidades (Tangará).

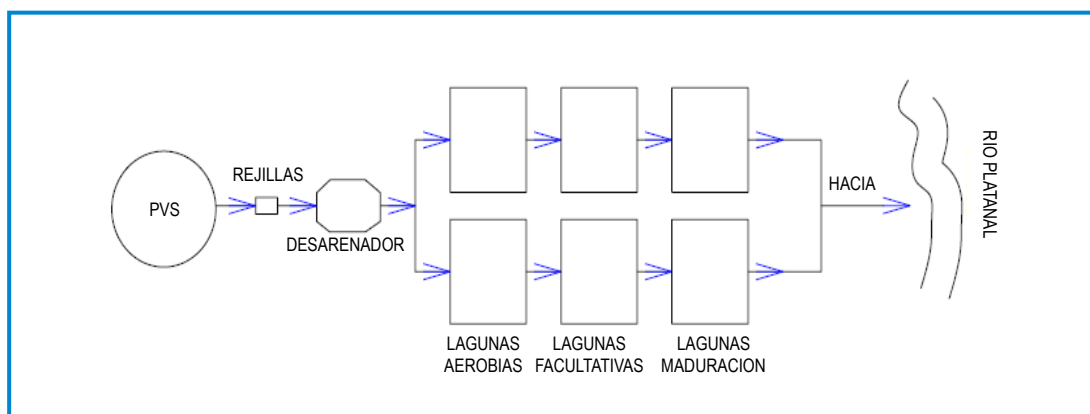
Figura 80. Esquema del sistema de tratamiento PTAR El Cocal, León.



Fuente: ENACAL, GIZ/PROATAS. N/D. Diagnóstico general de 35 Sistemas de Tratamiento de Agua Residuales de ENACAL.

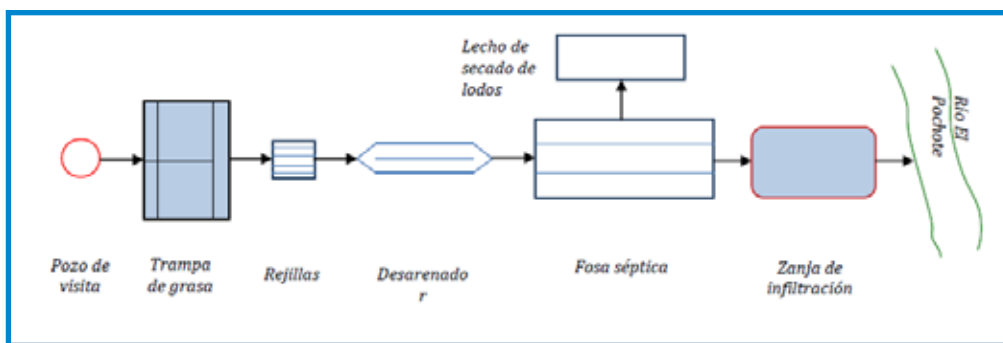
La planta de tratamiento de aguas residuales San Isidro (coordenadas 16P 509598 1374901) solamente cuenta con seis lagunas estabilizadoras que trata las aguas residuales que llegan hasta allí, gracias al accionamiento constante de bombas elevadoras de aguas negras (**figura 81**). El pre-tratamiento consiste en conducir el efluente a través de rejillas y un desarenador.

Figura 81. Esquema del sistema de tratamiento PTAR San Isidro, León.



Y finalmente la planta de tratamiento de aguas residuales San Carlos (16P 513199 1376591), que únicamente cuenta con una Fosa Séptica y Zanja de Infiltración (**figura 82**). El sistema de pre-tratamiento consiste en el uso de una trampa de grasa, rejilla y desarenador, que luego conducen las aguas residuales hacia la fosa séptica y área de infiltración. También cuenta con un espacio para el secado de lodos.

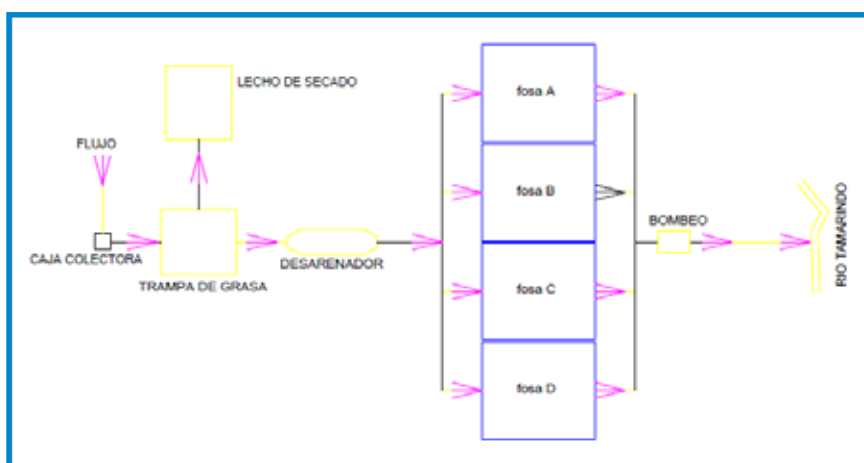
Figura 82. Esquema del sistema de tratamiento PTAR San Carlos, León.



Fuente: ENACAL, GIZ/PROATAS. N/D. Diagnóstico General de 35 Sistemas de Tratamiento de Agua Residuales de ENACAL.

En el municipio de La Paz Centro, únicamente se encuentra la **planta de tratamiento de aguas residuales La Paz Centro** (coordenadas 16P 535761 1362984) cuyo proceso consiste únicamente en depositar las aguas negras en cuatro fosas sépticas, de concreto reforzado seguida cada una de un filtro anaerobio de flujo ascendente (**figura 83**). El pretratamiento consiste en hacer circular los desechos por una trampa de grasa y luego por el desarenador. También cuenta con un área para el secado de lodos. El efluente vierte en el río Tamarindo.

Figura 83. Esquema del Sistema de Tratamiento PTAR La Paz Centro, León.



Fuente: ENACAL, GIZ/PROATAS. N/D. Diagnóstico General de 35 Sistemas de Tratamiento de Agua Residuales de ENACAL.

Indiscutiblemente estas plantas de tratamiento fueron diseñadas para reducir las cargas de contaminación orgánica, pero en la mayoría de estas la eficiencia exigida en la normativa nacional (decreto 21-2017 antes conocido como decreto 33-95), que es altamente exigente, no alcanzan los estándares de cumplimiento (ENACAL, 2014). Se demanda más inversiones en la operación de las PTAR para lograr la reducción de patógenos. Aún los resultados del monitoreo de vertidos a cuerpos receptores que realizó ENACAL a mayo 2017 muestran que en la mayoría de las PTAR de la Cuenca 64, los parámetros de coliformes fecales y sólidos suspendidos totales no están siendo controlados de acuerdo a la norma.

Actualmente el MARENA con el apoyo de la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) a través de PROATAS, se encuentra desarrollando el nuevo sistema automatizado de gestión WEB para el monitoreo de vertidos de aguas residuales que permitirá la reducción de costos, ahorro de tiempo, monitoreo permanente en tiempo real, elaboración de mapas, reportes y análisis de situaciones para una ágil toma de decisión institucional en lo que respecta al manejo de las PTAR.

Además el PROATAS brinda asesoría técnica a ENACAL, a través de un pilotaje en 14 PTAR a nivel nacional, para implementación de este sistema, entre las que se encuentran la PTAR San Isidro en León y la PTAR Roberto Gonzáles en Chinandega (ubicadas dentro de la Cuenca 64) y como parte de estos esfuerzos ENACAL ya está implementando la rutina de monitoreo de la calidad de sus efluentes, realizando análisis constantes en sus laboratorios.

A partir del año 2016 ENACAL ha realizado la extracción de los lodos acumulados en ambas plantas, que desde su inicio de operación nunca se había realizado (de 15 a 20 años), se espera con ello que las aguas residuales tratadas en estas PTAR aumenten su capacidad de remoción. En la planta Roberto Gonzáles de Chinandega se ha extraído 3,700 m³ de lodos y en la planta San Isidro en León 2,451 m³, para esta última se están adquiriendo bombas sumergibles para fortalecer las dos estaciones de bombeo de aguas residuales que alimentan la misma.

PROATAS brinda asesoría a ENACAL en el desarrollo de capacidades con los operadores, técnicos y delegados, en la implementación de protocolos de operación y mantenimiento, a nivel Central y en las delegaciones de León y Chinandega.

- En seis de los diez municipios de la Cuenca 64 ENACAL brinda el servicio de Alcantarillado Sanitario, para lo cual posee 9 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y en Corinto una Estación de bombeo al mar a través de un emisario.
- La cobertura actual del servicio de alcantarillado en los seis municipios es del 54%.
- Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de ENACAL en la Cuenca 64, fueron diseñadas para el cumplimiento de los parámetros de calidad de los efluentes, sin embargo los sedimentos, los desechos sólidos y el inapropiado drenaje de las aguas pluviales de las viviendas, han hecho perder la efectividad de la operación y tratamiento de las aguas al colmar su capacidad.
- Representa un gran reto para ENACAL la necesidad de inversión significativa en obras de limpieza y extracción de lodos y desechos sólidos en las PTAR, además de la regulación del drenaje pluvial en las ciudades y viviendas para lograr la efectividad de la operación de las mismas. Ya existe un esfuerzo en este sentido en las plantas Roberto Gonzáles en Chinandega y San Isidro en León.
- En general en las zonas rurales de la Cuenca 64 el dispositivo de saneamiento más utilizado es la letrina.
- Existe un número considerable de empresas privadas con plantas de tratamiento de aguas residuales autorizadas (25) por MARENA, lo que representa un gran reto para la institución competente en implementar rutina de monitoreo constante para verificar la operación y el cumplimiento de los parámetros de calidad de sus efluentes, de acuerdo a lo que establece el decreto 21-2017 antes conocido como decreto 33-95.
- En el caso del municipio de León, existe una tarea pendiente muy importante y es la regulación del tratamiento de las aguas residuales provenientes de las tenerías y granja porcina que se están vertiendo directamente al río Chiquito sin garantías de tratamiento previo.
- En el caso de las ciudades de Chinandega y El Viejo, se requiere de la implementación urgente de sistemas de tratamiento de las aguas residuales de los rastros municipales y/o la reubicación de los mismos.

9. Situación de los desechos sólidos

De igual manera que el manejo de los desechos líquidos, el manejo de los desechos sólidos, también constituye una amenaza para la conservación de los cuerpos de agua, en la Cuenca 64.

Los 10 municipios de la cuenca cuentan con sistemas de recolección de desechos sólidos que de manera regular retiran el material a través del barrido de calles o de la recepción y vaciado de los diferentes depósitos domiciliarios que son colocados a orillas de la casas, por donde pasa la ruta del tren de aseo.

En otros casos también, en la mayoría de los municipios, el servicio de recolección de basura, entre sus rutas e itinerarios contempla la recolección de materiales en fábricas, comercios e instituciones, pequeños depósitos autorizados y hasta basureros ilegales. En algunos casos, hasta se realizan servicios especiales, a solicitud de los interesados, para que a través de una tarifa diferenciada, el equipo de la alcaldía retire materiales y los deposite en los vertederos.

La falta de cobertura del servicios de recolección de basura, tanto en el área urbana como rural y la frecuencia con que se presta el servicio, no logra equipararse, con la creciente dinámica del proceso de producción de desechos, que se ve estimulado por los modernos hábitos de consumo, en una población que crece día a día (más de medio millón de habitantes al año 2005).

Las cabeceras municipales y demás asentamientos humanos, situados a orillas de ríos y quebradas, representan una creciente fuente de contaminación, debido a que sus habitantes descargan, los desechos domiciliarios y hasta derivados de la producción y de la industria, directamente en sus cauces naturales. En otros casos, los desechos se tiran sobre canales y ductos para drenaje pluvial, que luego arrastran este tipo de materiales hasta los cuerpos de agua, especialmente durante la época de lluvias.

En todos los casos, los materiales recolectados por el servicio municipal, son depositados a cielo abierto, sin ningún tipo de tratamiento, más que el de dispersión del material sobre el terreno, una vez que el mismo amontonamiento del material, no permite más la circulación de los equipos dentro del predio.

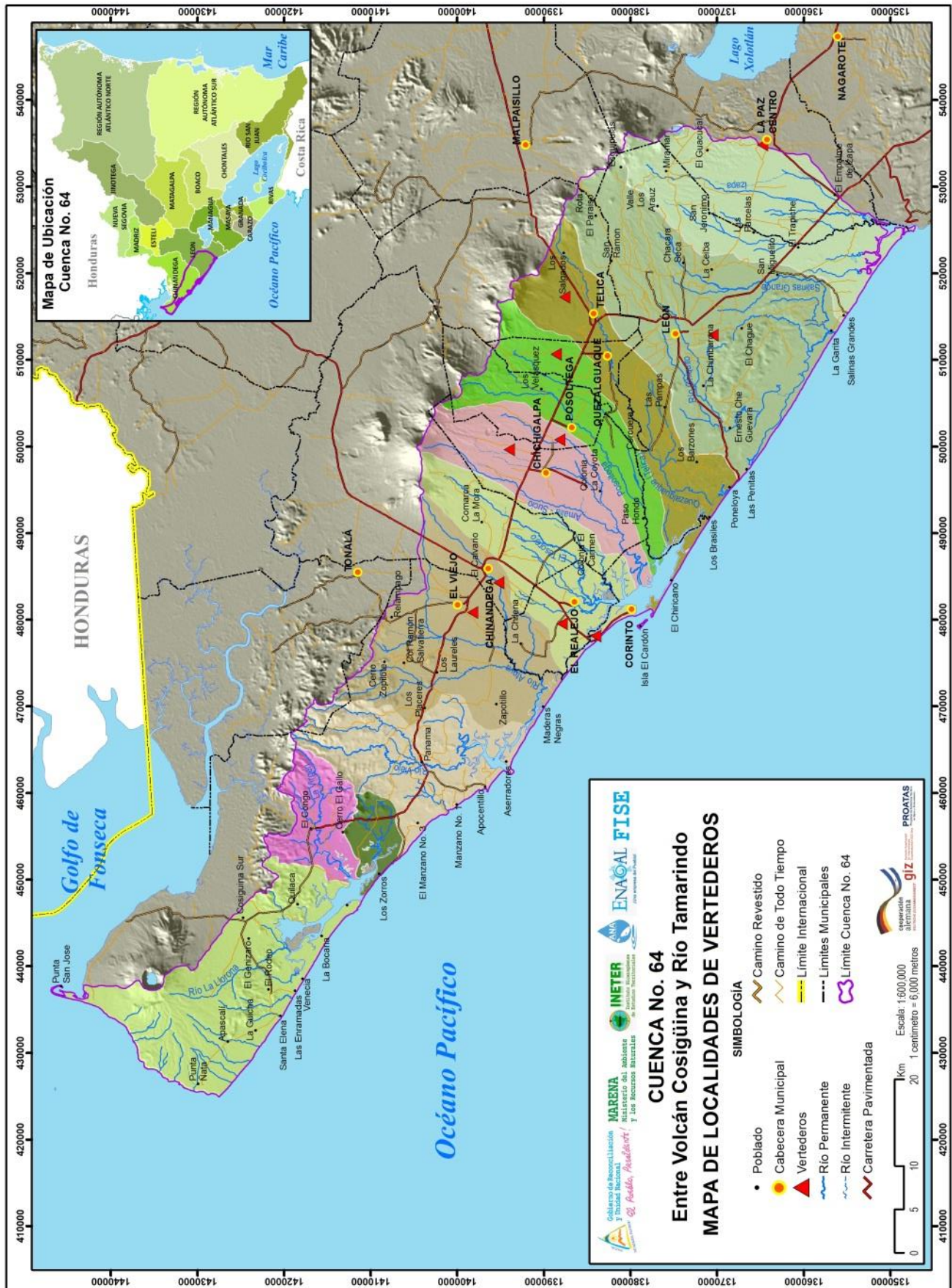
En este caso se recurre al uso de tractores, para esparcir el material sobre la superficie, pero sin aprovechar para cubrirlo ni compactarlo. No hay manejo de lixiviados¹³, solamente el actual vertedero del municipio de León, construido en 2006, fue apropiadamente acondicionado con trincheras, para el tratamiento de éstas sustancias, pero el mal manejo las ha dejado actualmente en desuso.

¹³Son sustancias que se forman como resultado del arrastre de partículas que los líquidos (como el agua de lluvia) provocan, al pasar (percolarse) a través de cuerpos sólidos. En los vertederos y lugares donde se acumula basura, aparecen los lixiviados, que son inertes, es decir, que no son solubles, ni combustibles, ni biodegradables.

* Decentralised Wastewatertreatment System.

En los municipios de Corinto, El Realejo y Chinandega, los vertederos ya han sido copados y ameritan reubicación, especialmente los de Corinto y Chinandega que están ubicados al lado de cuerpos de agua (manglares en el caso de Corinto y río Acome en el caso de Chinandega) y representan una grave fuente de contaminación para ellos (**mapa 23**).

Mapa 23: Ubicación de los vertederos por municipio



En el mapa anterior podemos observar la ubicación de los 10 vertederos existentes en la Cuenca 64, sin embargo ya todas las alcaldías se encuentran en la búsqueda de nuevos sitios y gestionan recursos para la realización de los debidos estudios ambientales y técnicos. Las alcaldías de El Realejo y Corinto, plantean la posibilidad de hacer un manejo mancomunado de un solo relleno sanitario intermunicipal, ubicado en el primero de ellos, ya que Corinto no cuenta en su territorio, con un sitio que reúna las debidas condiciones.

Los demás municipios cuentan con vertederos que aún tienen alguna vida útil, si consideramos los volúmenes actuales de desechos que manejan y el área de la cual disponen para su manejo. El que mejores perspectivas tiene es el de León, ya que a partir del cierre del basurero de El Fortín, en el año 2007, el nuevo predio fue ubicado en un área de 160 manzanas, que prevé una vida útil de al menos 20 años más.

En ninguno de los vertederos se hace actualmente separación y tratamiento de materiales, solamente en León hubo una experiencia para reciclar, pero debido al incendio y desuso de las instalaciones, ya no se realiza.

En ellos se da oportunidad a personas interesadas en recolectar material reciclable, para acopiarlo y luego retirarlo del sitio, lo que origina la permanencia de ellas dentro del botadero, con cierto control de parte del personal de la municipalidad (excepto en el caso de El Realejo, Posoltega, Quezalguaque, Telica y La Paz Centro, donde no permanece personal de la alcaldía).

Algunas familias dedicadas a esta labor ya se han asentado a orillas de las cercas perimetrales de los vertederos y en el caso de Chichigalpa, hasta existen familias habitando ya, dentro del mismo basurero.

En todos los sitios se deposita el material mezclado, es decir, orgánico e inorgánico, no peligrosos y peligrosos, incluyendo entre éstos últimos, hasta materiales y desechos médicos, proveniente de hospitales, centros de salud, clínicas, veterinarias, laboratorios, etc. En este sentido, la municipalidad de León, ya contempla la construcción de un incinerador, ubicado en el mismo vertedero, para disponer adecuadamente, de éste tipo de materiales.

En general, la estimación sobre la composición promedio de los materiales depositados en los vertederos, es de un 75% para orgánicos y 25% para inorgánicos. Entre los materiales orgánicos se destaca la presencia de material forestal proveniente de limpiezas y podas, frutas, verduras y otros desechos de la cocina familiar y los mercados.

Entre los materiales inorgánicos, prevalece un 10% de plásticos, 5% de papeles, cartones y similares, 5% vidrios, 2% metales, 2% textiles y 1% de otros materiales. En los vertederos de León y Chinandega y El Viejo se observó un porcentaje un poco más alto de materiales inorgánicos, especialmente plásticos, entre la composición volumétrica del material recolectado. En la mayoría de los vertederos se observó dentro del predio, la quema de llantas para extraer su alambrado metálico.

En todos los casos, las alcaldías cumplen con la legislación vigente en cuanto a seguridad y salud ocupacional, al personal se le hace entrega

periódica de uniformes y equipo de protección, como cascos, gafas, mascarillas, guantes, botas, y chalecos; pero queda a discreción de los operarios, hacer uso de ellos. Regularmente son sometidos al chequeo médico reglamentario.

En todos los municipios existen ordenanzas municipales que incluyen las disposiciones generales para el manejo adecuado de los desechos, así como las tarifas y las multas por su incumplimiento, pero la gran mayoría, o no han sido divulgadas o no se aplican realmente.

En todos los casos, las tarifas no cubren los costos reales de operación de los servicios de recolección, transporte y manejo de los desechos. En algunos municipios, aún el beneficio es gratuito o se recauda irregularmente, por lo que los porcentajes de recuperación son mínimos, implicando necesariamente el subsidio de la mayor parte de la prestación del servicio de parte de la alcaldía municipal.

9.1 Vertedero municipal de Corinto

En el municipio de **Corinto** el servicio se organiza a través de rutas que atienden 8 zonas, que dan cobertura al 100% del área (no poseen áreas rurales). La tarifa es diferenciada, entre C\$15 y C\$20 para servicios domiciliarios y C\$200 para servicios especiales a personas naturales. Para personería jurídica (empresas, por ejemplo) la tarifa es de C\$400. Con una frecuencia de 2 días a la semana, cubren 31 barrios, donde se recolectan diariamente unos 90 m³ de desechos que provienen de un poco más 18,000 habitantes en 4,031 viviendas, que son depositados en el vertedero municipal (16P 478164 1383988) que dista 4 km al noroeste del casco urbano, con 6 manzanas de extensión (**foto 36**).



Foto 36. Vertedero municipal de Corinto.

El servicio se presta a través de 68 personas (7 en barrido de calles, 34 operarios de cuadrillas, 24 operarios de rutas en camiones recolectores, 2 choferes y un supervisor) y dos camiones, con capacidad de 6m³ cada uno.

9.2 Vertedero municipal de El Realejo

En El Realejo, el servicio de recolección cubre el 100% del área urbana y 30% del área rural, a través de 15 personas. La tarifa es de C\$10 para viviendas y precios diferenciados para el comercio e instituciones.



Foto 37. Vertedero municipal de El Realejo.

Cuentan con dos unidades recolectoras, en buen estado con capacidades de 6 y 12 m³ respectivamente, que cruzando rutas e itinerarios ya establecidos recogen 18 m³ diarios de desechos, con frecuencia de 1 vez a la semana y los depositan en el vertedero (16P 479559 1383988) ubicado 4 km al Noroeste del casco urbano (**foto 37**). La capacidad de éste predio, de 1.5 manzanas ha sido alcanzada, por lo que se propone reubicarlo en un nuevo sitio, de unas 10 manzanas de extensión que podría ser manejado mancomunadamente con Corinto.

9.3 Vertedero municipal de El Viejo

El municipio de **El Viejo**, cuenta con 3 vehículos recolectores en buen estado, 2 camiones volquetes de 8 toneladas cada uno y 1 camión recolector de 16 m³ de capacidad. Otros 4 vehículos permanecen en mal estado mecánico (**foto 38**). Diariamente se recogen unos 86 m³ de desechos, dando cobertura al 90% del casco urbano y 1% del área rural. La frecuencia de la recolección es de 1 vez al día en el área central y 2 veces por semana en la periferia, a cargo de 50 personas: 15 en el barrido de calles, 27 operarios en los vehículos recolectores, 6 conductores y 2 supervisores.



Foto 38. Vertedero Municipal de El Viejo.

La tarifa domiciliar es de C\$30 y existen precios diferenciados para el comercio (C\$200) y servicios especiales a la industria (C\$500). El vertedero (16P 480874 1398226) está ubicado a 1.5 km al Suroeste de la ciudad, con 10 manzanas de extensión, actualmente copado, pero que se pretende reactivar con la remoción, compactación, relleno y nivelación, para extender su vida útil a unos 10 años más (**foto 38**). Como medida de mitigación para evitar la dispersión de los desechos fuera del área, se han establecido barreras vivas en el perímetro.

9.4 Vertedero municipal de Chichigalpa

Chichigalpa cuenta con 4 vehículos recolectores: 2 volquetes pequeños, 1 compactadora, 1 tractor con plataforma o tráiler y 10 carretones. También cuentan con la colaboración de un tractor de la compañía licorera que diariamente acopian 111m³ de desechos, dando cobertura al 80% del área urbana con la recolección domiciliar (6,041 viviendas), con una frecuencia de 2 a 3 veces por semana y empleando a 30 personas (4 conductores, 13 recolectores y 13 barredores) (**foto 39**).



Foto 39. Vertedero municipal de Chichigalpa.

Con el barrido de calles se da cobertura al 100% del casco urbano (126 calles, de 4 asentamientos rurales, 9 barrios y 13 repartos). El vertedero (16P 499674 1393992) se encuentra a 5 km al Noreste de la ciudad y tiene una capacidad de 7 manzanas, al cual se le da mantenimiento de escombros 2 veces al año. Dentro del sitio habitan actualmente 3 familias (19 personas).

9.5 Vertedero municipal de Posoltega

En **Posoltega** se realiza diariamente (6 días a la semana) el barrido de 44 calles, dando cobertura al 100% del área urbana. El material es recolectado en un tractor con plataforma de 12 m³ de capacidad, el cual aprovecha también para retirar los desechos que desde algunas viviendas se depositan en el mismo recorrido. Se estima que mensualmente se recogen unos 93 m³ de desechos. No hay cobro por este servicio.



Foto 40. Vertedero municipal de Posoltega.

Se emplea a 8 personas en total, 3 encargadas del barrido de calles, 1 conductor, 2 operarios, 1 encargado de la limpieza del parque y 1 más en el cementerio.

En el área rural se recogen los desechos provenientes de jornadas de limpieza que se emprenden mensualmente. También se organiza con frecuencia recorridos especiales para las instituciones estatales.

El vertedero (16P 500811 1388138) está ubicado 2 km al noroeste del poblado y cuenta con un área de 0.5 mz sin cerca perimetral, ocupada parcialmente y con una vida útil estimada para unos 5 años más (**foto 40**). Actualmente no cuenta con ningún tipo de manejo, pero donde se planea hacer una fosa, para no contaminar una quebrada que se encuentra en las proximidades. Se estima que solamente un 18% de la población hace uso del servicio, el resto lo quema en su propia casa o los deposita en pequeños basureros ilegales (20 aproximadamente).

9.6 Vertedero municipal de Chinandega

El vertedero municipal tiene 9 manzanas de extensión (16P 484301 1395192), ubicado en el sector suroeste de la ciudad, con más de 50 años de existencia, que necesita ser reubicado, por colindar al oeste con el río Acome y representa su principal fuente de contaminación (**foto 41**). Acá no hay barreras de contención (gaviones, por ejemplo) que impida el desmoronamiento de desechos sobre el curso del río, mucho menos que impida la contaminación con lixiviados. Se planea adquirir un nuevo sitio para reubicarlo, de 16 manzanas de extensión y crear un arboreto en el sitio actual.



Foto 41. Vertedero municipal de Chinandega.

El servicio de recolección de desechos da cobertura al 95% del casco urbano, con una frecuencia de 2 veces por semana. Además existen 22 basureros ilegales (6 de ellos considerados puntos críticos) a los que se les da atención diariamente. El personal operativo es de 217 personas: 14 conductores, 6 supervisores, 72 operarios del tren de aseo y 125 operarias de barrido de calles.

Durante el barrido, se limpian 6 días a la semana 648 calles (otras 287 calles, ubicadas en la periferia, quedan sin cobertura) y se traslada el material recolectado, en carretones y triciclos, hacia sitios de transferencia, a la espera de su traslado definitivo, el cual se estima en 300 toneladas diarias.

Se cuenta con 15 vehículos recolectores: 9 camiones (2 ya están en regular estado) y 6 tractores con su plataforma, además de un Caterpillar de oruga para las operaciones de mantenimiento del vertedero. Cuenta también con 11 contenedores ubicados en diferentes sitios de la ciudad.

9.7 Vertedero municipal de Quezalguaque

En **Quezalguaque** la recolección de desechos da cobertura al 100% del área urbana y 25% del área rural, a través del barrido diario (6 veces por semana) de 40 calles, trabajo que realizan 3 personas. Se recolectan diariamente unos 25 m³ de material que es trasladado por medio de un camión pequeño y un tractor con plataforma.



Foto 42. Vertedero municipal de Quezalguaque.

Se estima que solamente el 18% de la población está haciendo uso del servicio. El vertedero (16P 510691 1388555) se ubica 7 km al norte del poblado y cuenta con 3 manzanas de extensión, de las cuales solamente se ocupa 0.5, implicando esto una vida útil estimada para unos 20 años más (**foto 42**). El acceso no está controlado, pero se realizan inspecciones dos veces al mes. También existen 3 basureros ilegales a los cuales la municipalidad da atención regularmente.

9.8 Vertedero municipal de Telica

En **Telica**, realiza el servicio de recolección de desechos y barridos de calles 6 días a la semana, tres en el casco urbano (lunes- miércoles-viernes) y otros tres días en el semiurbano (Félix Pedro Carrillo y San Jacinto) los días martes, jueves y sábado. Los días domingo también se hace limpieza en las áreas verdes de la ciudad.



Foto 43. Vertedero municipal de Telica.

Mensualmente se recolectan unos 112 m³ provenientes del barrido de calles con triciclos y 618.5 m³ del material recolectado en las viviendas (**foto 43**). Diariamente se barren 136 cuadras en cinco barrios del casco urbano y en la comunidad San Jacinto.

Se cuenta con 10 triciclos, 2 camiones de volquete con capacidad de 6 m³ cada uno. Son 19 las personas que operan el servicio de limpieza pública y ornato, que recolectan y trasladan el material obtenido hasta el vertedero municipal (16P 517262 1387565) que dista a 5 km al noreste de la ciudad, con 11 manzanas de extensión.

9.9 Vertedero municipal de León

León cuenta con un nuevo vertedero (16P 512896 1370450) ubicado 4 km al sur de la ciudad, de 160 manzanas de extensión, originado a partir de la clausura y reubicación en el año 2007 del anterior botadero, situado en el Fortín (**foto 44**). Actualmente se ocupan solamente unas 32 manzanas, que de acuerdo a los actuales volúmenes de desechos recolectados (440.35 m³ diarios) y tomando en cuenta las tasas de crecimiento poblacional (3%), estaría ofreciendo una vida útil para unos 10 años más.



Foto 44. Vertedero municipal de León.

Se da cobertura a un 85% del área urbana, en base a una población atendida de 190,465 personas (de un total estimado de 224,076). La frecuencia con la que se ofrece el servicio es de 3 días a la semana en la zona central, 2 en la zona media y 1 en la periferia de la ciudad. Se estima que con el barrido de calles se da cobertura a un 50.16%, de 151.5 km de la red vial en el casco urbano.

Un total de 121 personas participan operativamente en el servicio de recolección de desechos: 41 en limpieza de calles, 77 en recolección y transporte de desechos y 3 personas más en el vertedero (1 operador y 2 encargados de básculas).

Las tarifas domiciliarias oscilan entre C\$10 y C\$40 mensuales, además hay tarifas diferenciadas para el sector comercio y servicio que varían en el rango de C\$50 y C\$250 y hasta precios que van un poco más allá de los C\$700 para grandes establecimientos como granjas, empresas, tenerías, clínicas y laboratorios. Se cuenta con 11 vehículos recolectores, todos con capacidades de entre 12 y 15 toneladas cada uno, con vida útil ya consumida, que presentan desperfectos mecánicos con mucha frecuencia, pero que cubren diariamente las 13 rutas de recolección.

9.10 Vertedero municipal de La Paz Centro

La Paz Centro, cuenta con un vertedero (16P 534853 1364750) ubicado a 1 km al noroeste del casco urbano, con 6 manzanas de extensión, de las cuales actualmente se ocupa 1 de ellas. Cuenta con cerca perimetral y próximamente con una caseta y aguja de control de acceso (**foto 45**).



Foto 45. Vertedero municipal de La Paz Centro.

Aquí se depositan diariamente 28 m³ de desechos, recolectados a través de 2 unidades recolectoras: un tractor con plataforma y un camión de volquete, de 7 m³ de capacidad cada uno. Se hace remoción, nivelación, cobertura y compactación del material en el vertedero una vez al año, por lo que se estima, que con este tipo de manejo, podría tener una vida útil de 10 años. El servicio de recolección cubre un total del 60% del área urbana, con el trabajo de 14 personas que realizan la limpieza diariamente, de lunes a sábado. La tarifa es de C\$30 mensuales y también hay precios diferenciados para servicios especiales hasta por C\$200.

- Apremia la clausura y reubicación de los vertederos de Chinandega y Corinto, por constituirse como fuentes de contaminación para cuerpos de agua superficiales que colindan con ellos.
- En ninguno de los vertederos municipales existe relleno sanitario, el manejo consiste únicamente en depositar los desechos a cielo abierto. Tampoco hay manejo de lixiviados.
- Los materiales se manipulan y depositan mezclados, incluyendo materiales peligrosos y desechos hospitalarios, todos se manejan como residuos domiciliarios.
- No en todos los basureros existe control del acceso al predio, mucho menos del tipo de material que es depositado en éstos.
- En ninguno de los sitios se realiza separación de los desechos, pero existen personas particulares, que por su cuenta, retiran y aprovechan materiales para el reciclaje.
- Existen ordenanzas municipales sobre el manejo de desechos, pero no se han dado a conocer a la población o no se aplican cabalmente.

10. Conservación y protección

Actualmente la Cuenca 64 carece de la declaración de zonas de protección directas para la conservación o protección de los recursos hídricos, ya sean fuentes de agua superficial o subterránea.

Las zonas de protección directas, actuarían sobre superficies donde se ubican sitios de captación de aguas superficiales, tales como presas o embalses, o de aguas subterráneas, como pozos perforados o excavados a mano, donde se debe controlar el uso del agua y evitar cualquier tipo de contaminación. Estas áreas se determinan según la cercanía a la obra de captación y de esta manera se pueden establecer rangos de protección máxima, media y mínima, por lo cual la zona de protección se da en un perímetro de 10 a 100 m² dentro del lugar donde se localiza la captación (California Water Boards, 2010).

Esta zonificación también debería de restringir el uso del recurso. En la cuenca 64, sólo ENACAL tiene sus captaciones protegidas mayormente referidas a pozos cercados con un perímetro de al menos 5 m². En el caso de los sistemas de abastecimiento para suministro rural administrados por los CAPS más grandes, cuentan con sus cercas de protección y el uso de agua está restringido a consumo humano principalmente, por ejemplo CAPS instalados en la parte rural del municipio de León (ver detalles en acápite 7.1).

Los pozos excavados que son una cantidad considerable dentro de la cuenca se encuentran desprotegidos en su mayoría, sin cerca de protección y sin ningún tipo de restricciones de uso. Los manglares y esteros también son otras áreas que necesitan ser priorizadas dentro de la protección directa, actualmente estas zonas de esteros son áreas protegidas. Sin embargo en la mayoría de los casos se comprobó que existen fuentes de contaminación microbiológica y desechos sólidos y tienen un alta vulnerabilidad a contaminación orgánica por su cercanía con los cultivos de caña.

Según los planes de seguridad de agua de la OMS (2004), la protección de los recursos y de la fuente constituyen las primeras barreras en la protección de la calidad del agua de consumo. Las aguas subterráneas de acuíferos profundos y confinados son habitualmente inocuas desde el punto de vista microbiológico y químicamente estables si no existe contaminación directa; sin embargo, los acuíferos poco profundos o no confinados pueden estar expuestos a contaminación por las descargas o filtraciones asociadas a las prácticas agropecuarias (por ejemplo, de agentes patógenos, nitratos y plaguicidas), las redes de saneamiento y alcantarillado locales (agentes patógenos y nitratos) y los residuos industriales como es el caso del acuífero de Occidente.

En una evaluación de los peligros deben tenerse en cuenta los siguientes factores de peligro y sucesos peligrosos que pueden afectar a las cuencas de captación:

- Descargas de las redes de alcantarillado y fosas sépticas;
- Descargas industriales;
- Uso de sustancias químicas (por ejemplo, de fertilizantes y plaguicidas agrícolas) en las zonas de captación;

- Grandes vertidos (incluidos los asociados a vías públicas y rutas de transporte), tanto accidentales como intencionados;
- Acceso de personas (por ejemplo, actividades recreativas); fauna y ganado;
- Usos de la tierra (por ejemplo, ganadería, agricultura, silvicultura, industria, eliminación de residuos, minería) y cambios en dichos usos;
- Zonas de amortiguación y vegetación inadecuadas, erosión del suelo y roturas de trampas de sedimentos;
- Corrientes y descargas de aguas pluviales;
- Vertederos o minas, en uso o cerrados / lugares contaminados / residuos peligrosos;
- Variaciones rápidas de la calidad de agua bruta;
- Factores geológicos (sustancias químicas de origen natural);
- Acuífero no confinado y poco profundo (incluidas las aguas subterráneas en contacto directo con aguas superficiales);
- Pozos sin revestimiento o con revestimiento inadecuado, con boca inadecuadamente protegida o utilizados en condiciones antihigiénicas; y
- Variaciones climáticas y estacionales (por ejemplo, lluvias copiosas, sequías) y catástrofes naturales.

La protección eficaz de los recursos hídricos y fuentes de agua comprende las siguientes medidas:

- Elaborar y ejecutar un plan de gestión de la cuenca de captación, que incluye medidas de control para proteger las aguas superficiales y los manantiales de aguas subterráneas;
- Garantizar que la reglamentación sobre la planificación protege los recursos hídricos (planificación de los usos de la tierra y gestión de la cuenca) de actividades potencialmente contaminantes, y que se vigila su aplicación
- Control de las actividades humanas dentro de los límites de la cuenca de captación;
- Control de los vertidos de aguas residuales;
- Inspecciones periódicas de las zonas de captación;
- Diversión de los cauces locales de aguas pluviales;
- Protección de las vías fluviales;
- Intercepción de la escorrentía; y

De forma similar, algunas medidas de control para la protección eficaz de los sistemas de extracción y almacenamiento de agua son:

- Uso, durante y después de periodos de lluvias copiosas, de los recursos hídricos almacenados disponibles;
- Ubicación y protección adecuadas de la toma de agua;
- Elección correcta de la profundidad del punto de extracción de agua de los embalses;
- Construcción correcta de pozos, incluido su revestimiento e impermeabilizado, así como la protección de la boca;
- Ubicación correcta de los pozos;
- Uso de sistemas de almacenamiento de agua para que los tiempos de retención sean máximos;
- Uso de sistemas adecuados de captación y drenaje del agua de lluvia en depósitos y embalses;
- Protección para impedir el acceso de animales; y
- Protección para impedir el acceso y la manipulación no autorizados.

Cuando se dispone de varias fuentes de agua, puede haber flexibilidad en la selección del agua destinada a tratamiento y suministro, de modo que puede evitarse utilizar agua de ríos y arroyos cuando su calidad sea deficiente (por ejemplo, tras lluvias copiosas), con el fin de reducir el riesgo y evitar posibles problemas en las operaciones de tratamiento subsiguientes.

Algunas de las medidas de control que pueden incluirse son el tratamiento previo, la coagulación, floculación o sedimentación, la filtración y la desinfección.

Los siguientes son algunos ejemplos de medidas de control para diversos tipos de fuentes de agua distribuida por tuberías:

Para un pozo entubado equipado con bomba de mano

- Medidas adecuadas de terminación de la boca del pozo.
- Fijar distancias de seguridad suficientes con respecto a fuentes de contaminación como letrinas o ganado, preferiblemente basadas en el tiempo de recorrido por manantial protegido sencillo.
- Mantener medidas eficaces de protección del manantial.
- Determinar la distancia de seguridad basándose en el tiempo de recorrido por pozo excavado sencillo.
- Construcción correcta y refuerzo del recubrimiento con mortero.
- Instalación y mantenimiento de bomba de mano u otros medios de extracción higiénicos por captación de agua de lluvia.

En la mayoría de los casos, la contaminación de las aguas subterráneas puede evitarse mediante una combinación de medidas sencillas. En ausencia de fracturas o fisuras, que pueden facilitar el transporte rápido de contaminantes hasta la fuente, el agua subterránea de los acuíferos confinados o profundos estará generalmente libre de microorganismos patógenos.

En general, para garantizar la inocuidad microbiana, las aguas superficiales deberán, al menos, desinfectarse y, habitualmente, también filtrarse. La primera barrera se basa en reducir al mínimo la contaminación en la fuente de abastecimiento derivada de los residuos humanos, el ganado y otros factores de peligro. Cuanto más protegida esté la fuente de abastecimiento de agua, menor será la necesidad de recurrir a su tratamiento o desinfección. El agua debe protegerse de la contaminación durante su almacenamiento y suministro a los consumidores, asegurándose de que los sistemas de distribución y almacenamiento están protegidos.

Por otro lado las zonas de protección indirectas, deberían estar dirigidas a la conservación de la cobertura forestal en el área de recarga de las fuentes de agua, superficiales o subterráneas. Por lo general se ubican en la parte alta de la cuenca para evitar también la erosión y sedimentación, especialmente en temporadas de lluvias copiosas, como la del huracán Mitch, cuyo arrastre modificó el curso y lecho de algunos ríos (CEPAL, 1999).

Sin embargo, por el carácter de ésta última categoría, relacionada a la conservación forestal en zonas altas de la cuenca, vale la pena destacar que existen en la cuenca 10 áreas protegidas administradas por MARENA. Entre las categorías de Reserva Natural, Reserva de Recursos Genéticos y Monumento Nacional (**mapa 24**) se encuentran Reservas Naturales ubicadas a lo largo del complejo volcánico en la cordillera Los Maribios (Volcán Cosigüina, Telica-Rota, Pilas- El Hoyo y San Cristóbal-Casita).

El resto de áreas protegidas, están delimitadas en zonas de humedales, islas y manglares, o como monumento nacional. De todas éstas, solamente el plan de manejo Isla y Estero Juan Venado (MARENA, 2002), define una subzona de manejo y protección hídrica, pero no con el objetivo de proteger fuentes de agua, sino con el de recuperar los manglares y demás ambientes degradados, que forman parte del estuario, en la desembocadura del río **Chiquito**.

En las zonas altas de la cuenca, los planes de manejo de áreas protegidas, contemplan la protección o conservación de áreas boscosas; manejo y conservación de suelos, mediante obras de protección; conservación de especies de flora y fauna en peligro de extinción; y protección de la diversidad biológica, pero en ninguno se refleja la definición de zonas de protección, directas o indirectas, para los recursos hídricos.

De manera similar sucede en los planes ambientales municipales, la mayoría ya desactualizados, que contemplan de manera general la protección del medioambiente y los recursos naturales, con acciones encaminadas a la reforestación en las riberas de ríos y quebradas, pero ninguna, por ejemplo, orientada directamente a la reforestación, en zonas identificadas como áreas de recarga o infiltración de las fuentes de agua, de las que se abastece la población.

Durante la consulta realizada por la Cuenta Reto del Milenio, para la definición de acciones en el manejo de las cuencas hidrográficas, los pobladores y autoridades municipales, concluyen que no solamente es necesaria priorizar acciones encaminadas a restaurar las fuentes hídricas, sino además, a la "protección legal" de las fuentes de agua, con importancia para el abastecimiento del consumo humano. Además de éste antecedente, para corroborar la necesidad de definir áreas de protección para los recursos hídricos, es relevante señalar el alto grado de vulnerabilidad que presenta la cuenca, ante eventos climáticos extremos, como el huracán Mitch, durante los cuales, las fuentes hídricas son expuestas a contaminación y sedimentación.

Por lo pronto, la correcta y completa ejecución de los planes de manejo, en las áreas protegidas de la cordillera volcánica, sean quizás la única posibilidad, de proteger los espacios de infiltración y recarga de las fuentes de agua, que se ven amenazadas, por la expansión de áreas de cultivo y pastoreo, tal y como se puede observar en el análisis multitemporal de imágenes satelitales (Mendoza, 2014), donde se aprecia la disminución de las áreas de bosque latifoliado cerrado.

Así, por ejemplo, el plan de manejo del área protegida reserva natural Complejo Volcánico San Cristóbal-Casita, contempla la protección del área, por la importancia que ésta tiene para la recarga del acuífero de Occidente, de la que se abastecen unas 340 mil personas. La expansión de las áreas de cultivos anuales y áreas de pastoreo, son sus principales amenazas.

Por otro lado, no existen sitios Ramsar¹⁴ dentro de la Cuenca 64, según la Procuraduría General de la República de Nicaragua (PGR)¹⁵, el más cercano es el sitio: **Delta del Estéreo Real**. Este se encuentra en el municipio de Chinandega, en el límite noreste fuera de la cuenca, comprende una reserva natural con 35 especies de fauna. Es un ecosistema representativo que desempeña un papel hidrológico, biológico y ecológico significativo en el funcionamiento natural de la cuenca hidrográfica a la que pertenece. Es el sitio Ramsar No. 1136.

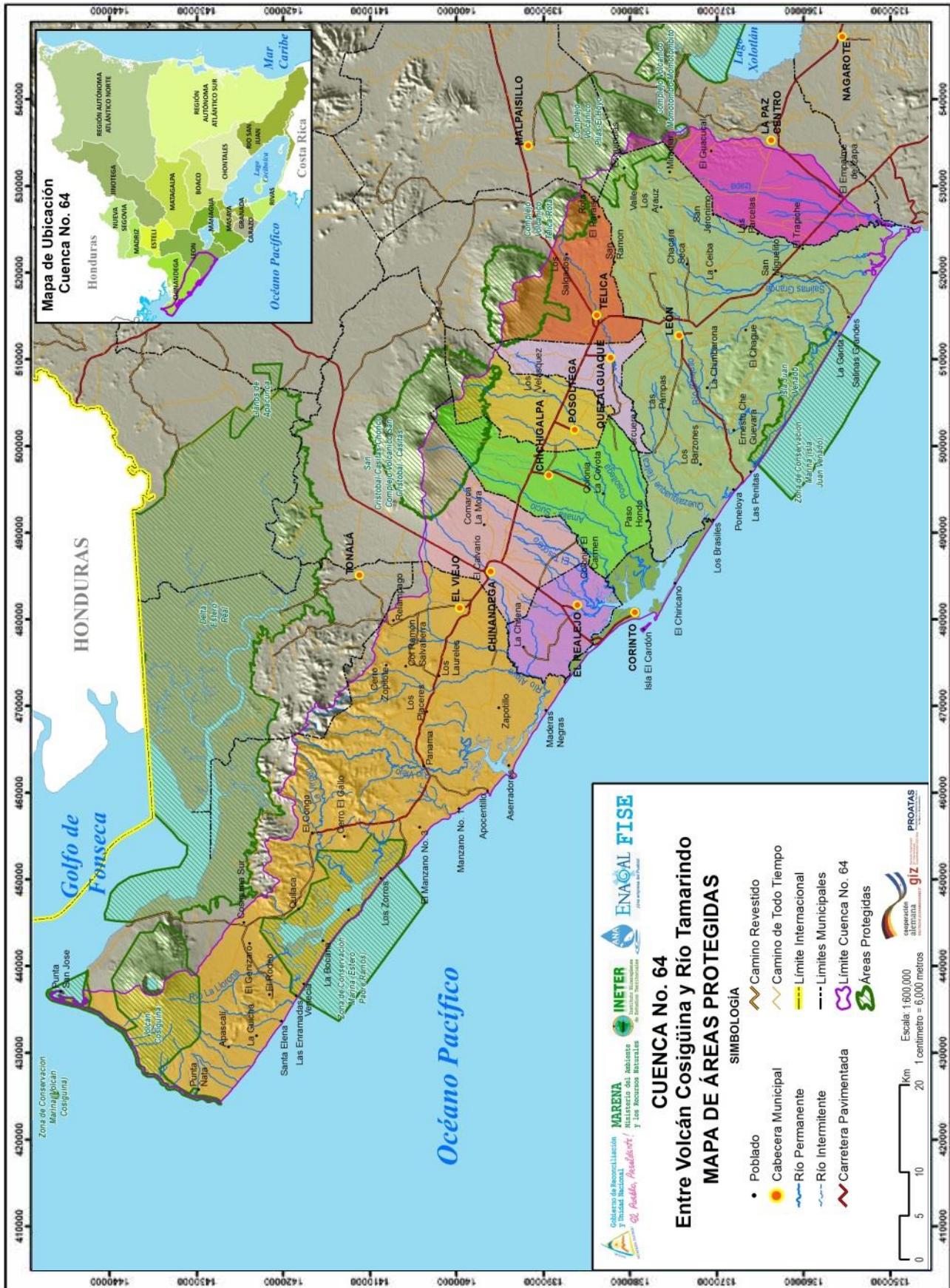
En relación a la localización de los sitios ecológicamente frágiles dentro de la Cuenca 64, el reglamento de permiso y evaluación de impacto ambiental (decreto no. 45-94) describe estas áreas como: manantiales, acuíferos, ríos, lagos, lagunas cratéricas o no, esteros, deltas, playas, costas rocosas, cayos, arrecifes de coral, praderas marinas, humedales, dunas, terrenos con pendientes mayores de 35%, bosques y sus respectivas zonas de transición y las áreas declaradas bajo protección.

En el área de estudio estos sitios coinciden con las áreas protegidas dentro de la cuenca, localizadas en el mapa de abajo. También destacan los ríos principales que conforman cada una de las subcuencas principales y las playas del litoral Pacífico dentro del mismo límite de la cuenca.

¹⁴Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves

¹⁵<http://www.pgr.gob.ni/index.php/articulos/54-noticias/452-nicaragua-con-humedales-de-importancia-internacional>

Mapa 24: Localización de las áreas protegidas en la Cuenca 64



En el área protegida reserva natural volcán **Cosigüina**, el plan de manejo hace énfasis principalmente en la conservación de la fauna y flora, amenazadas por las prácticas extractivas de cazadores y leñadores, pero sin embargo, reconoce también la importancia de conservar los recursos hídricos por considerarlos escasos y valiosos, constituidos por un pequeño acuífero subterráneo, ubicado en la zona central de la península¹⁶. Por ello, la conservación del área protegida es considerada necesaria para facilitar la infiltración de éste acuífero, del que depende el abastecimiento de agua de las comunidades, función que se ve amenazada por la expansión agrícola y los incendios forestales.

En el plan de manejo de la reserva natural complejo volcánico **Telica - Rota**, se reconoce la importancia de conservar la cobertura forestal para mantener la infiltración en las zonas donde actualmente se ubican pozos que abastecen a las comunidades con agua de buena calidad, a diferencia de las áreas ubicadas en el Volcán Telica, donde además de escasez, el agua es de inferior calidad. En el área del volcán Rota, el plan contempla el manejo de la regeneración natural para incrementar las áreas de cobertura arbórea. Las amenazas identificadas son principalmente los incendios forestales y la extracción ilegal de madera y leña.

En el Parque Nacional Complejo Volcánico **Pilas - El Hoyo**, el plan de manejo considera, acciones para evitar la contaminación de los recursos hídricos en la zona de amortiguamiento, puesto que en el resto del parque no se encuentran asentamientos humanos. Además contempla mejorar la capacidad de infiltración, para mejorar la disponibilidad de agua, para las familias asentadas en la zona de amortiguamiento. Las amenazas identificadas acá, son los incendios forestales, extracción de leña y expansión de la actividad agropecuaria.

- Actualmente la Cuenca 64 carece de la declaración de zonas de protección directas o indirectas para la conservación o protección de los recursos hídricos.
- Los Planes de Manejo, de las Reservas Naturales ubicadas en la zona alta de la cadena volcánica, en la cordillera Los Maribios, contemplan acciones encaminadas a conservar o incrementar la cobertura boscosa.
- Las áreas de conservación de bosques, definidas dentro de estas reservas naturales, podrían ser consideradas para reconocerlas en el futuro, como zonas de protección indirectas de los recursos hídricos, por evitarse en ellas, la erosión de los suelos y mejorar la capacidad de infiltración.

¹⁶MARENA, 2006. Plan de manejo del área protegida reserva natural volcán Cosigüina. p.9.

11. Intervención artificial en el régimen natural de las aguas

En este capítulo se identifica el tipo de intervención artificial que se ha establecido para la explotación de los recursos hídricos en la Cuenca 64, debido a su potencial agrícola y a su potencial hídrico.

El aprovechamiento del recurso a través de la perforación de pozos (intervención en el régimen natural de las aguas subterráneas) para abastecer sistemas de riego por aspersión, gravedad y goteo.

La intervención en el régimen natural de las aguas superficiales está más vinculado a la construcción de obras hidráulicas para aprovechar los ríos, como: canales, canaletas, instalación de sistemas de tuberías de extracción con bombas, establecimientos de embalses y represas fijas y/o temporales.

Las principales actividades económicas de la Cuenca 64 son: la agricultura, industria, comercio, ganadería en menor escala y los servicios.

Dentro de la agricultura general de la cuenca se incluyen: la siembra de ajonjolí, arroz, café, frijoles, maíz, sorgo, yuca, soya, maní, banano, plátano y caña de azúcar. La caña de azúcar es la más cultivada en la cuenca (y que necesita del riego), debido a la existencia de los dos ingenios azucareros más grandes del país: ingenio Monte Rosa (del grupo Pantaleón) y el ingenio San Antonio (o SER San Antonio), localizados en el municipio de El Viejo y en Chichigalpa respectivamente, el segundo cultivo más representativo y que requiere del riego son las musáceas (plátano y banano). Esta cuenca se encuentra en la región del pacífico del país, la cual se caracteriza por ser muy seca, por lo cual la práctica de riego es común¹⁷.

En el informe del flujo de retorno por riego (incluido en el capítulo del balance hídrico), se realizó el análisis de las áreas con cultivos bajo riego para conocer la demanda de agua para esta actividad, para ello se utilizó como información base el inventario municipal de áreas bajo riego del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO), realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) en el año 2011.

En esta análisis se identificaron que al 2011 habían 34,187 hectáreas bajo riego en los municipios y áreas dentro de la cuenca, encontrando que los cultivos que demandan agua para riego son: la caña de azúcar, que representa el 94.9% de los cultivos con riego y las musáceas (banano y plátano) que presentan el 5.1%. El resto de los cultivos no requieren riego y si lo requieren, las cantidades totales son mínimas y por lo tanto no son representativas para este estudio.

De las áreas bajo riego dentro de la cuenca, un total de 29,792.90 hectáreas están situadas en el departamento de Chinandega (87.15%) y 4,393.96 (12.85%) en el departamento de León.

¹⁷Tomado del documento: Caracterización de la Cuenca 64, MARENA 2010.

La Ley General de Aguas Nacionales (No. 620), establece la regulación para el aprovechamiento de los recursos hídricos, por lo que al 2015 esta institución otorgó a empresas y productores de la Cuenca 64, las siguientes concesiones (**Tabla 47 y 48**):

Tabla 47: Concesiones de acuerdo al uso en la Cuenca 64

Item	Uso	Volumen anual concesionado (MMC/A)	Porcentaje (%)
1	Consumo humano	0.96	0.4
2	Consumo industrial	1.56	0.64
3	Otros	0.018	0.007
4	Riego para la producción agrícola	239.49	98.95
	Total	242.03	100

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), informe de concesiones otorgadas a octubre 2015.

Tabla 48: Tipo de concesiones otorgadas en la Cuenca 64

Item	Tipo de concesiones otorgadas	Cantidad	Volumen anual concesionado (MMC/A)	Porcentaje
1	Agua subterránea (pozos)	305	155.99	74.2
2	Tomas superficiales (obras hidráulicas)	106	86.04	25.8
3	Total	411	242.03	100

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), informe de concesiones otorgadas a octubre 2015.

Como se observa en la **tabla 47**, la mayor concentración de las concesiones otorgadas están dirigidas al riego para la producción agrícola en un 98.95%. Este aprovechamiento de los recursos hídricos es la actividad más importante que genera una intervención artificial en el régimen natural de las aguas en la Cuenca 64 y para ello los productores construyen o instalan temporalmente infraestructura que facilita la explotación del recurso.

En la **tabla 48**, indica que los pozos perforados son el tipo de concesiones más utilizadas para el abastecimiento del riego en un 74.20%, seguido de las tomas superficiales (construcción de obras hidráulicas para el aprovechamiento de los ríos) en un 25.80%.

Según el IV CENAGRO el sistema de riego más utilizado en la cuenca con el 49.51% es por aspersión. Este tipo de sistema es abastecido por pozos perforados con capacidad de producción de 3.78 m³/min hasta 6.5 m³/min, para ello los mismos están equipados con bombas de 75 a 100 HP. Este sistema de riego tiene un *factor de eficiencia de 0.8* (FAO, 2008).

En la cuenca existen tres tipos de sistemas de riego por aspersión:

- **Sistemas fijos:** con tuberías enterradas o superficiales.
- **Sistemas semifijos:** que se van desplazando de una zona a otra de forma manual o mecanizada mediante un desmontaje rápido del sistema.

- **Sistemas autos mecanizados:** que son sistemas automotrices que llevan instalados motores eléctricos o sistemas hidráulicos que permiten su movimiento a lo largo de la superficie de riego.



Foto 46. Sistema de riego semifijo por aspersión, abastecido por agua subterránea, finca ubicada en León.



Foto 47. Sistema de riego automecanizado. Pivote central de aproximadamente 400 m, abastecido a través de un pozo. Finca ubicada en Quezalguaque.

El sistema de riego por gravedad es el segundo tipo más utilizado en la Cuenca 64 con el 33.18%. Consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora (regularmente los ríos) hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo (**foto 46 y 47**).

El agua conducida por este sistema puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, por tuberías (normalmente a baja presión) o por una red de canales y acequias¹⁸ donde el agua circula por gravedad y es controlada por compuertas mecánicas o automáticas hasta dividirse en los ramales necesarios de acuerdo a la extensión a regar (**foto 48**). Dicho sistema de riego tiene un factor de eficiencia de 0.5.



Foto 48. Riego por gravedad, proveniente de un pozo y conducida a través de canales. Finca ubicada en La Paz Centro

¹⁸Acequias: Zanja o canal pequeño que conduce agua, especialmente para el riego.

Las obras hidráulicas están mayormente asociadas con las concesiones de tomas superficiales, en las cuales se construyen o se instalan temporalmente infraestructura para el aprovechamiento del caudal de los ríos. Represar el agua en un punto estratégico del río, con materiales temporales: sacos rellenos de arena de río, piedras de río, barras de hierro y madera, o construcciones fijas: presas de mampostería¹⁹ y concreto reforzado o de concreto ciclópeo²⁰ con piedra del río es lo más común encontrar en la Cuenca 64, utilizadas con el propósito de mantener volúmenes de agua necesarios para explotar el recurso y de esta forma alimentar los canales para riego (**foto 49 y 50**).



Foto 49. Presa fija, de mampostería, con un vertedero al centro, ubicada en fincas de Chichigalpa.



Foto 50. Presa de madera y barras de acero, ubicada en fincas de Chichigalpa durante el verano. Ingenio San Antonio, Chichigalpa.

El agua represada puede ser extraída con bombas y tuberías desde el punto de succión (donde se ubica el mayor volumen represado) hasta donde se ubiquen los canales para la distribución u otro tipo de tecnología de riego como podría ser por goteo.

El riego por goteo se implementa poco en la Cuenca 64, se utiliza en el 4.69% de los riegos. La eficiencia del mismo es de 0.90 (la más alta de todos los anteriores sistemas descritos). Quizás los costos de inversión siguen siendo una de las barreras para la utilización de este tipo de riego.

¹⁹Mampostería: es un término que aplica a las partes o divisiones en una construcción, por lo general a las paredes; estas se conforman de bloques huecos, ya sea de arcilla o concreto, y se pegan usando mezcla de mortero (o sea arena, más cemento y agua). Cuando esta mampostería se encuentra sujeta o enmarcada utilizando elementos estructurales, por ejemplo una estructura metálica o de concreto armado, decimos que se trata de mampostería confinada. Además de bloques se puede utilizar, piedras canteras u otro tipo de piedra como en el caso de la proveniente de los ríos.

²⁰concreto ciclópeo: Concreto Portland al que se adiciona piedras grandes o mediana en porcentajes según diseño. Por lo general se utiliza en estructuras de gran volumen.

Se puede aprovechar las aguas superficiales y subterráneas para el riego por goteo, la única variante es que cada tipo de aprovechamiento (superficial o subterráneo) debe tener una tecnología diferente para filtrar las aguas, esto es para evitar obturaciones¹² en los goteros (**foto 51**).

Para el aprovechamiento de las aguas superficiales, los filtros de arena evitan impurezas en el agua, imprescindible para el riego por aspersión y para el sistema de riego por goteo (**foto 52 y 53**).

Para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el riego por goteo se utiliza los sistemas de filtros hidrociclón y tanque de sedimentación para evitar la obturación²¹ en el sistema por partículas minerales (arenas, limos, arcilla).



Foto 51. Filtro de arena para aprovechamiento de agua superficial para sistema de riego por goteo. Ingenio San Antonio, Chichigalpa.



Foto 52. Filtro hidrociclón para el aprovechamiento de agua subterránea.



Foto 53. Sistema de aprovechamiento de agua superficial para el goteo. Ingenio San Antonio, Chichigalpa.

²¹La obturación es la acumulación de materiales que reducen el paso del agua en los emisores, que puede aumentar progresivamente hasta presentarse una obturación total.

- La mayor intervención en el régimen natural de las aguas en la Cuenca 64, está dada por el aprovechamiento del agua para el riego.
- El aprovechamiento de las aguas subterráneas para el riego del sector agrícola, representa la mayor intervención con el 74.20%, de acuerdo a las concesiones otorgadas por la Autoridad Nacional del Agua al 2015.
- La intervención en el régimen natural de las aguas superficiales representa para el riego el 25.80% del total de las concesiones otorgadas por la Autoridad Nacional del Agua al 2015, uso que se practica en mayor frecuencia durante el verano en la Cuenca.
- Con respecto a la intervención de las aguas superficiales, Las presas fijas y temporales son las obras de infraestructura más utilizadas en la Cuenca, complementado por los sistemas de extracción con bombas de gran potencia.
- En cuanto a la intervención de las aguas subterráneas, el aprovechamiento a través de pozos que abastecen sistemas de riego de gran potencia es lo más común encontrar en la Cuenca. Tal es el caso de los pivotes centrales automecanizados y aspersión semifijo. El riego por goteo es muy poco utilizado en la cuenca.

12. Análisis y evaluación del estado de los recursos hídricos (Conclusiones)

En este capítulo se resaltan las conclusiones sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos y los impactos del cambio climático en ellos.

12.1 Disponibilidad y reservas de agua

La mayor disponibilidad de agua en la Cuenca 64 son los recursos hídricos subterráneos, estos dependen de la recarga del acuífero que se alimenta única y exclusivamente de la cantidad de lluvia precipitada anualmente. El acuífero de Occidente que ocupa aproximadamente el 80% de la Cuenca, contribuye con un promedio de 200 a 300 (MMC/A) dependiendo de un superávit o déficit de la precipitación de varios años. De las aguas superficiales no se conoce con exactitud la cantidad de MMC que están disponibles en la cuenca, debido a que no hay mediciones completas de un año hídrico o para más años (lo ideal son seis años de mediciones) y contar así con un caudal promedio anual.

Según estimaciones del balance hídrico, del total de precipitación para un año lluvioso, un 59% será escorrentía superficial, 32% para un año de precipitación promedio y 25% para un año de precipitación seca. Durante la época seca, algunos ríos muestran todavía caudales lo que indica que son alimentados por la reserva del acuífero. Hay casos en que se secan completamente por la intervención artificial (extracción). Si hubo buena recarga (año lluvioso) los ríos logran mantener su caudal en época seca.

La cobertura del servicio de agua potable en los cascos urbanos de todos los municipios es muy buena, con un promedio del 95%. El abastecimiento a los sectores urbanos está considerado solamente por la perforación de pozos, debido al potencial del Acuífero de Occidente. En las zonas rurales, el abastecimiento es realizado a través de sistemas con pozos perforados equipados con bomba manual o con bombas eléctricas, que producen un estimado de 32.32MMC/A.

La demanda real en las zonas urbanas dentro de la cuenca, supera dos veces la demanda óptima del sector urbano, (Registros ENACAL 2015). Es posible que este aumento se deba principalmente a la ausencia de registro de datos del consumo comercial y turístico, fugas en las redes no detectadas, conexiones ilegales y el estado actual de la macromedición.

En las zonas rurales de la cuenca, la demanda real se comporta casi ocho veces por encima de la demanda óptima. Lo que a simple vista resultaría como sobre abastecimiento, podría deberse a los horarios de servicio y capacidad de producción que indican los registros del SIASAR-FISE, que reflejan un rango considerable de explotación de la fuente de 12 a 24 horas diariamente en cada sistema. El consumo de agua en la cuenca, se calcula en 316.12 MMC/A al año 2015, de estos, el 75% está orientado al sector agrícola, un poco más del 24% al consumo humano y menos del 1% al sector industrial.

12.2 Calidad de agua

Los problemas de calidad se concentran en las aguas superficiales, provocados principalmente por contaminaciones bacteriológicas, con una escala equivalente a altamente contaminado. En el transcurso de tres años de muestreo, del 2014 al 2016, los ríos con los valores más altos de coliformes totales, corresponden al río Ojoche en el municipio de León, 2 sitios en el río Carbonero y río Sucio afluentes del río Los Arcos en el municipio de Chichigalpa, el río Atoya y su afluente río Acome, en el municipio de El Viejo.

Referente a la turbidez, la mayoría de los ríos muestreados dieron valores menores a 15, y el promedio fue de 21 para los ríos de la cuenca. La norma CAPRE da un valor menor a 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), para agua potable. Se desconoce la existencia de normas internacionales o nacionales que indiquen valores de turbidez que permitan el desarrollo de la vida acuática. Un estudio de la Universidad de Carolina del Norte²², hace referencia a normas de menos a 50 NTU para la vida acuática, de 5 NTU para la recreación.

La calidad química del agua subterránea analizada en 2015 mostró un deterioro respecto a la calidad determinada en 1999, demostrándose incluso una mezcla de los tipos de agua: de agua de buena calidad (agua renovable) a agua de mediana calidad (agua de reserva), sin embargo, la composición química de los análisis realizados a finales de 2016 mostró una ligera recuperación del piso freático.

Las aguas subterráneas comprendidas dentro de la cuenca muestran buena calidad, pero siempre necesitan un tratamiento previo para consumo humano. Fue determinada contaminación bacteriológica puntual en algunos pozos excavados y dos pozos en la Paz Centro muestran concentraciones de arsénico un poco por encima del valor límite de la norma CAPRE. También en La Paz Centro y la ciudad de León se encontraron dos pozos con contaminación con plomo.

²²<http://www.water.ncsu.edu/watershedss/info/turbid.html>

12.3 Impactos del cambio climático

Según GTZ (2010) en su manual "Información para una adaptación eficaz de cambio climático" menciona que los efectos de escenarios climáticos regionales sobre las sociedades y los ecosistemas se investigan con mayor profundidad en los estudios sobre el impacto climático, vulnerabilidad, adaptación y evaluaciones integradas. Además detalla que en estos estudios se utilizan las evaluaciones de vulnerabilidad y los análisis de las estrategias de adaptación con el propósito de ofrecer los conocimientos obtenidos a los actores involucrados.

En este capítulo se describen los impactos del cambio climático para los recursos hídricos en la Cuenca 64 con base a la información disponible proveniente de diferentes fuentes (institucionales, académicas, internacionales) principalmente los datos climáticos de INETER y las comunicaciones y estrategias de adaptación a cargo de MARENA 2008.

El capítulo es mayormente formado por estudios previos de otras fuentes, ya que no existe suficiente información para generar estudios y modelos de vulnerabilidad hídrica por cambio climático. Esta tipo de vulnerabilidad no debe confundirse con la vulnerabilidad hídrica a causa de factores agravantes originados por causas antropogénicas, que sí es abordado en los diferentes capítulos del diagnóstico, especialmente en los capítulos del 3 al 9 referido al estado de la calidad y cantidad de las aguas.

También se utilizan datos de la empresa privada para valorar los impactos en la parte cañera como principal rubro productivo de la zona. Los impactos del cambio climático pueden ser medidos de acuerdo al comportamiento de parámetros climáticos tales como: temperatura, precipitación y variaciones de niveles de agua superficial y subterránea.

Las Naciones Unidas mencionan en su portal UN WATER que los mayores impactos del cambio climático en los recursos hídricos como medio principal se sentirán en la disponibilidad de agua que cada vez será más difícil de predecir en muchos lugares y el aumento de las incidencias debido a la amenaza por inundación a los puestos de agua, servicios higiénicos, así como la contaminación a fuentes hídricas (<http://www.unwater.org/water-facts/climate-change/>).

Nicaragua ha demostrado avances en la temática de cambio climático, después de la firma del Acuerdo de París por parte del gobierno; actualmente se encuentra en consulta la política nacional de cambio climático y en culminación para este año la tercera comunicación de cambio climático. La tercera comunicación de cambio climático publicada en 2017 hasta el momento incluye el inventario nacional de efecto invernadero de 2010.

También, a nivel de modelos climáticos regionales se ha avanzado con el atlas de escenarios climáticos del país con proyecciones climáticas hasta 2080 (INETER y MARENA 2016) y existe un sistema de monitoreo para indicadores de impacto del cambio climático en Nicaragua guardados en la Plataforma Nacional de Información y Conocimientos sobre Cambio Climático (**ver tabla 49**).

Tabla 49. Sistema de monitoreo de indicadores de impacto del cambio climático en Nicaragua

Indicador	Cobertura	Fuente de Información	Periodicidad	Unidad de Medida
Anomalia Global de Temperatura	global	http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/	mensual	grados centígrados
Anomalia Nacional de Temperaturas	nacional	(Desde el INETER)	mensual	grados centígrados
Anomalia Nacional de Precipitaciones	nacional	(Desde el INETER)	mensual	milímetro
Anomalia de temperatura superficial del mar global	global	http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global	mensual	grados centígrados
Elevación del nivel del mar.	regional	http://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global_station.htm?stnid=833-011	anual	milímetro por año
Nivel del agua en los lagos Cocibolca y Xolotlán	nacional	(Desde el INETER)	mensual	metros sobre el nivel del mar
Cantidad de cambios observados en la biodiversidad	nacional	Dirección General de Patrimonio Natural MARENA	anual	cantidad cambios observados
Gasto por pérdidas y daños	nacional	MHCP o Banco Central de Nicaragua	anual	córdobas
Fuente: Plataforma nacional de información y conocimientos sobre cambio climático (http://www.cambioclimatico.ineter.gob.ni/Arecursosohidricospage.html)				

La mayoría de los indicadores se medirán a nivel nacional posiblemente basado en los datos climáticos recopilados de diferentes estaciones. Esta iniciativa es un buen comienzo para empezar a medir los datos necesarios y poder estimar los efectos del cambio climático a nivel nacional, sin embargo todavía está pendiente empezar a medir los impactos a nivel de cuenca y dentro de ellas priorizar cuencas importantes como la Cuenca 64.

GTZ (2010) también sugiere una tabla más específica para compilar información sobre impactos climáticos en un área. De esta manera se utilizó el formato de la tabla propuesta para valorar los impactos de acuerdo a la información disponible en la Cuenca 64 (**tabla 50**). En esta tabla además se reflejan las tendencias del cambio climático para los municipios de León y Chinandega.

También se indican las afectaciones en la columna de impactos de acuerdo a los cultivos más característicos de la cuenca 64: caña de azúcar, plátanos y el cultivo de camarón.

Según AndesPlus (2013), un método posible para estimar el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos es la combinación de modelos climáticos con modelos hidrológicos, se proponen utilizar los Modelos de Circulación Global (MCG) o también se puede reducir la escala (downscaling) de MCG a la escala regional o también a la escala de estaciones.

También se hace mención en la importancia de la selección de los datos para los escenarios climáticos futuros y que estos depende del área de la

cuenca y de los datos existentes de estaciones climáticas. Para evaluar el efecto del cambio climático en la hidrología de una cuenca, recomendamos integrar los escenarios de cambio climático de un modelo seleccionado en el análisis hidrológico para determinar diferencias entre las simulaciones de los modelos climáticos y después compararlas con los cambios observados de series temporales.

Dentro de la Cuenca 64, es importante resaltar como recursos importantes de adaptación al cambio climático los manglares comprendidos en los esteros costeros. Actualmente, estos esteros se encuentran dentro las áreas protegidas declaradas por MARENA (ver capítulo 10). Estos ecosistemas son sitios de fuente vital de alimentos, materia prima, recursos genéticos para medicamentos e hidroeléctricas. Además mitigan las inundaciones, protegen las costas y desarrollan la resiliencia de la comunidad ante los desastres y desempeñan en papel importante en el transporte, el turismo y el bienestar de las personas (UN Water, 2018 <http://www.unwater.org/the-global-wetland-outlook/> Global wetland Outlook)

Tabla 50 (a). Evaluación de impactos en la Cuenca 64 (de acuerdo a la información disponible)

Ítem	Estímulos climáticos	Observaciones	Proyecciones	Impactos	Fuente	Probabilidad
1	<p>Aumento de temperatura (incluyendo cambios estacionales)</p>	<p>Para la Cuenca 64, en la zona costera se prevé incremento de 0.58 a 0.65 grados Celsius, para la zona de la cordillera volcánica entre 0.77 hasta 0.81 en el área de volcán Cosigüina.</p> <p>La estación de Chinandega con registro de 49 años muestra clara tendencia ascendente.</p> <p>No hay datos oficiales del impacto hacia la caña de azúcar como cultivo más importante de la cuenca. Más abajo se comentan experiencias de otros países.</p>	<p>Aumento hacia 2040 según las trayectorias de concentración representativas (RCP 45, siglas en inglés) de emisiones antropogénicas de CO2</p>	<p>Condiciones climáticas menos predecibles, afectarán la disponibilidad y distribución de la lluvia.</p> <p>Disminución de rendimientos de los cultivos e incremento de problemas de plagas.</p> <p>Menor productividad anual (pérdidas de cultivos totales y parciales).</p> <p>Mayor riesgo de incendios forestales</p> <p>Limitada disponibilidad de agua por alta extracción, en el caso de la cuenca 64.</p> <p>Pesca afectada: especialmente camarón (crecimiento de camarón,</p>	<p>(Milán, 2010), (INETEF, 2015, fuente de datos de 2 modelos: MPI-ESM-LR y GFDL-CM3: Experimento CMIP5 http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/)</p> <p>(Banco Mundial; CIAT. 2015)</p> <p>De Loma-Ossorio, E. et al (2014).</p> <p>GTZ, 2009 tomado de IPCC (2007b)</p>	<p>Muy probable</p> <p>Confirmada con mediciones diarias de estaciones climáticas. Los impactos están valorados a nivel nacional, todavía no hay información levantada a nivel de cuenca.</p>
				<p>propagación de enfermedades) susceptible a cambio de temperatura (golpes de calor).</p> <p>Mayor demanda de agua, problemas de la calidad del agua</p>		

Tabla 50 (b). Evaluación de impactos en la Cuenca 64 (de acuerdo a la información disponible)

Ítem	Estímulos climáticos	Observaciones	Proyecciones	Impactos	Fuente	Probabilidad
2	Tormentas más intensas y frecuentes	Para la Cuenca 64, el municipio de Chinandega tiene nivel de riesgo alto, los municipios de: El Viejo, El Realejo, Chichigalpa, Posoltega, Telica, La Paz Centro y León fueron clasificados con riesgo medio y Quezalaguaque con riesgo bajo.		Influencia en una pre-maduración de los frutos y disminución del rendimiento de los plátanos. Daño a las cosechas Erosión de suelo Deterioro de la calidad de agua Riesgo de muerte Presiones a la infraestructura rural y urbana Trastorno en los asentamientos y sociedades debido a las inundaciones.	(INETEER, 2015) GTZ, 2009 tomado de IPCC (2007b)	Casi probable, tomado de mapa riesgo por huracanes-plan nacional de adaptación al cambio climático.
3	Aumento del nivel del mar	Afectados sólo los siguientes municipios: con riesgo muy alto El Viejo, con riesgo alto León, y riesgo medio: Corinto y El Realejo. En mapas de áreas susceptibles al incremento del nivel del mar municipio de León, El Realejo y Corinto se detalla las áreas más susceptibles por municipio en cada mapa publicado y se clasifica en 2 rangos los posibles valores de incremento		Deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea, pérdida de playa (zona costera-turística pesquera), pérdida de ecosistemas (manglares) Salinización de agua para irrigación, sistemas de agua dulce Reubicación de personas e infraestructura Efectos de ciclones tropicales	(INETEER, 2015) (INETEER, 2016)	Casi probable, tomado de mapa riesgo por aumento de nivel del mar-plan nacional de adaptación al cambio climático.

Tabla 50(c). Evaluación de impactos en la Cuenca 64 (de acuerdo a la información disponible)						
Ítem	Estímulos climáticos	Observaciones	Proyecciones	Impactos	Fuente	Probabilidad
5	Más sequías	<p>Dentro de la Cuenca 64 se espera un riesgo muy alto por sequía en los municipios de León, Chinandega, Chichigalpa, El Realejo, Corinto, Telica, La Paz Centro, Posoltega y en riesgo alto: Quezalguaque y El Viejo</p> <p>En 2014-2015 se reportaron dos años de baja producción por sequía (entrevista a gerente de CNPA)</p>		<p>Dentro de la Cuenca 64, en el área de la caña los impactos son en el desarrollo de los cultivos y bajo rendimiento. No hay cifras publicadas. Afectación de pesca por golpes de calor. Influencia en una pre-maduración de los frutos y disminución del rendimiento de los plátanos. Degradación de la tierra.</p> <p>Menores rendimientos, daño a cosechas. Mayor riesgo de incendios forestales. Escasez de alimentos y agua</p> <p>Migración</p> <p>Deterioro de la salud</p> <p>Disminución de los ingresos por mayor acceso de agua</p> <p>Deserción escolar</p> <p>Falta de condiciones básicas para higiene básicas</p>	(INETEF, 2015)	Muy probable, tomado de mapa riesgo por sequía-plan nacional de adaptación al cambio climático.

Tabla 50 (d). Evaluación de impactos en la Cuenca 64 (de acuerdo a la información disponible)

Ítem	Estímulos climáticos	Observaciones	Proyecciones	Impactos	Fuente	Probabilidad
7	Más inundaciones y más inundaciones extremas	Dentro de la Cuenca 64, los municipios con riesgo muy alto: León, El Viejo y El Realejo. Con riesgo alto: Chinandega y riesgo medio: Chichigalpa, Posoltega y Quezalguaque.		<p>Muertes y lesiones, enfermedades infecciosas y desórdenes mentales. Disminución de rendimientos de los cultivos e incremento de problemas de plagas.</p> <p>Deterioro de la salud</p> <p>Disminución de los ingresos por mayor costos en el acceso de agua</p> <p>Deserción escolar</p> <p>Falta de condiciones básicas para higiene básicas</p>	(INETER, 2015)	Baja, tomado de mapa riesgo por inundación-plan nacional de adaptación al cambio climático.
8	Más lluvias extremas (incluyen do cambios estacionales)			<p>Destrucción de la infraestructura (estanques) de cría del camarón, provocada por las fuertes lluvias,</p> <p>Enfermedades al plátano y baja producción si hay vientos fuertes y lluvias</p> <p>Intensas Daños a cosechas y árboles</p> <p>Mayor riesgo de muerte Energía eléctrica interrumpida</p> <p>Deterioro de la salud</p> <p>Disminución de los ingresos por mayor costos en el acceso de agua</p>	De Loma-Ossorio, E. et al (2014).	

Tabla 50(c). Evaluación de impactos en la Cuenca 64 (de acuerdo a la información disponible)

	<p>Deserción escolar</p> <p>Falta de condiciones básicas para higiene básicas</p>		
<p>Cambios en la disponibilidad anual o estacional de agua</p> <p>9</p>	<p>Disminución en la producción de cultivos</p> <p>Influencia en una pre-maduración de los frutos y disminución del rendimiento de los plátanos</p> <p>Escasez de agua</p> <p>Daños a las cosechas</p> <p>Deterioro de la salud</p> <p>Disminución de los ingresos por mayor costos en el acceso de agua</p> <p>Deserción escolar</p> <p>Falta de condiciones básicas para higiene básicas</p>	<p>30-40% de aumento de precipitación media en el periodo de diciembre a febrero en los diferentes escenarios considerados (es la época seca, por lo que pequeños aumentos, en torno a 6mm/mes, suponen cambios porcentuales importantes). Entre septiembre a noviembre se esperan aumentos del 20%. En los meses de junio a agosto se prevé una reducción del 10%, en función del escenario de emisiones.</p>	<p>PREC REL para los escenarios RCP26, RCP45 y RCP85 (De Loma-Ossorio, E. et al, 2014).</p> <p>GTZ, 2009 tomado de IPCC (2007b)</p>
<p>Ajustada de manual sobre información para una adaptación eficaz de cambio climático (gtz, 2010), se eliminó estímulo climático: más períodos de frío, ya que no es propio del país, ni de la región. No hay información medida sobre impactos por causas de los diferentes estímulos. Los impactos en la tabla son valorados a nivel general.</p>			

Las afectaciones del cambio climático hacia las personas van desde la oportunidad de generación de ingresos, participación laboral, migración, mayor dificultad en el acceso de los servicios básicos, deterioro de la educación y salud y hasta mayores tasas de mortalidad.

El cambio climático no afecta igual a hombres y mujeres, niñas y niños, y varía según el estrato socioeconómico, etnia y edad de la persona. Existen pocos estudios que documenten el impacto diferenciado del cambio climático para hombres y mujeres en Nicaragua, sin embargo se puede afirmar que las mujeres, en mayor medida, están directa y cotidianamente afectadas social y económicamente por su rol central como cuidadoras del hogar (Lindo y Vanderschaeghe, 2016).

Dentro de este estudio sobre el perfil de género en. También se menciona la relación del cambio climático y el rol de las mujeres expresando que muchas actividades comúnmente asignadas a las mujeres en su rol de responsables del hogar y en particular las relacionadas con la seguridad alimentaria del hogar y la salud dependen de los recursos naturales, como es la disponibilidad de agua, la disponibilidad de vegetación y leña. La disponibilidad de agua y leña incide directamente en las actividades de la economía de cuidado como cocinar, alimentar, lavar, limpiar. Igualmente la responsabilidad de las mujeres en el cuidado de las personas dependientes, niños y niñas, personas mayores y enfermos, les hace más vulnerables antes crisis de alimentos, brotes de enfermedades y situaciones de emergencia y migraciones (**tabla 51**).

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Tabla 51. Incidencia del cambio climático sobre los hombres y mujeres (tomado de Lindo y Vanderschaeghe, 2016)	
Efectos actuales o esperado en los sistemas	Incidencia sobre la vida de hombres y mujeres
<p>Agricultura Disminución importante de la producción agrícola entre otros de cultivos de maíz y frijol, y café y ganadera.</p> <p>Creciente inseguridad alimentaria de los hogares.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Migración principalmente de hombres adultos, pero cada vez más de jóvenes y mujeres. Los roles de los hombres, que descargan en las mujeres el cuidado de los y las niñas y personas mayores, hacen que sea más fácil para estos emigrar y hacer frente a la crisis. - Mayor carga de trabajo para las mujeres, madres y abuelas, que quedan solas a cargo de tareas productivas y reproductivas. Efectos positivos y negativos sobre el empoderamiento de las mujeres han sido reportados dependiendo de su posición en la familia y comunidad (Gonda, 2014). - Migración de madres incide en abandono de escuela y secuelas psicológicas de hijos menores. - Inseguridad alimentaria afecta a toda la familia, pero recarga más a mujeres por su responsabilidad en la alimentación de la familia (PNUD, 2012). - Mujeres priorizan gastos en alimentación en detrimento de otros gastos como educación de hijos/as, o inversión en propio negocio. - Pérdida de empleos agrícolas en zonas rurales afecta más a mujeres por su poca movilidad.
<p>Agua Escasez de agua potable en zonas rurales y centros urbanos por reducción de recursos hídricos y la baja de nivel de los acuíferos.</p> <p>Incremento de conflicto por el uso y distribución del recurso hídrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inversión de tiempo y carga de trabajo de mujeres en recolección de agua para uso doméstico, en zonas específicas del país. - Mayor racionamiento de agua en zonas urbanas y rurales e irregularidad en el servicio mismo de racionamiento que afectan la planificación diaria de actividades empujando a las mujeres a una mayor inversión de tiempo en el hogar y a su mayor inserción en actividades de generación de ingresos informales y subempleo. - Pérdida de ingresos económicos en negocios de procesamiento y comercialización de productos alimenticios. - Aumento de la violencia doméstica.
<p>Ecosistemas costeros Afectación de ecosistemas costeros por inundaciones, subida de nivel de mar afecta actividades de pesca /turismo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento humano y migración afectando de forma diferencial a hombres y mujeres. - Afectación de pesca, cultivo de camarón y turismo local que generan muchos empleos para mujeres.
<p>Salud: Mayor incidencia de malaria, enfermedades virales y bacterianas. Baja calidad de agua incide en condiciones de salud.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor recarga para las mujeres por atender a personas enfermas, incide en su tiempo y movilidad para generar ingresos monetarios propios y su autonomía. - En tiempos de catástrofes, responsabilidad de nutrir a la familia, es por lo general asumido por mujeres.

Las mayores fuentes de información de recopilación de los impactos en la Cuenca 64 están basadas en mapas de riesgo climático publicados en el marco del plan nacional de adaptación al cambio climático, análisis sectoriales (mayormente agricultura) informes de cambio climático (informes IPCC²³), estudios locales de adaptación y vulnerabilidad, escenarios nacionales y regionales. La fiabilidad de esta información todavía es intermedia a nivel regional, sólo los mapas temáticos de riesgos climáticos son a nivel municipal. Se localizó un estudio de adaptación al cambio climático en la zona del golfo de Fonseca. Sin embargo todavía se necesita elaborar estudios sectoriales de cambio climático para la Cuenca 64, especialmente para recursos hídricos y agricultura.

²³IPCC (Panel Interinstitucional de Cambio Climático siglas en español)

Según Herrera et. al, (2015) los efectos negativos del cambio climático en el sector de la agricultura serían siembras marchitadas antes de su maduración, incremento en la erosión y degradación de suelos, siembras inundadas, aumento de maleza y parásitos, interrupción de las temporadas de desarrollo del cultivo, disminución de la producción agrícola y sequía de pozos y puestos de agua más temprano.

La información sobre los impactos del cambio climático en el monocultivo de la caña de azúcar en todas las áreas de la cuenca es casi nula, aun cuando la producción de caña de azúcar es clave para la economía del país, siendo uno de los principales rubros de exportación. Datos preliminares del CNPA²⁴ indican que en el ciclo 2016-2017 hubo un crecimiento en las áreas de siembra de caña de azúcar, con respecto a la zafra 2015-2016; así como mayores rendimientos agrícolas e industriales y de los productos derivados de la caña. Se prevé que los cultivos de caña enfrentan retos de aptitud climática ante el aumento de periodos de sequía que podrían afectar la productividad (Banco Mundial; CIAT. 2015). Según este mismo estudio, en el cual se realizó una proyección nacional a 2030 del cambio en la aptitud climática de la caña de azúcar se espera una variación entre -40 a -20 % para la Cuenca 64.

Sobre cambio climático en el sector cañero, OIA (2013) menciona un artículo de *Climate Change Journal* acerca de los rendimientos de la caña de azúcar en el sur de Brasil, donde se utilizaron modelajes de temperaturas, precipitaciones y concentración de CO₂ de los MCG PRECIS y CSIRO para concluir que el desarrollo y los rendimientos de la caña (calculados según la masa fresca del tallo de la caña) así como la eficiencia hídrica de la planta se vieron influidos positivamente por el aumento de la temperatura y de la concentración de CO₂ provocada por el cambio climático.

Además, el estudio muestra que el desarrollo de la cosecha responde positivamente a incrementos de temperatura de hasta 6° C en regiones productoras clave del Centro-Sur de Brasil y unos incrementos de la concentración de CO₂ de 750 ppm hacen que el tallo de la caña crezca cerca de un 10% más. Cabe destacar que los resultados muestran que la respuesta positiva del crecimiento de la caña y la mayor eficiencia hídrica provocada por el cambio climático.

Las simulaciones se basaron en la variedad de caña RB86-7515, que durante la temporada 2010/11 ocupó el 28% de la superficie cultivada con caña de azúcar en Brasil. Los resultados no son concluyentes ya que asumen que el regadío todavía no sería necesario para la producción de caña de azúcar en el sur de Brasil dada la posibilidad de que se produzca una bajada de precipitaciones.

²⁴Comité Nacional de Productores de Azúcar. Fuente: <http://www.congresoagropecuarioupanic.com.ni/exportacion-de-azucar-crece-132-7/>

Cabrera y Zuaznábar (2010), mencionan en el estudio: "Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada/ Balance del Carbono (C)" causa de degradación del suelo, mediante la disminución del C orgánico aún sin aplicar fertilizantes minerales. Un dato interesante arrojado en este estudio revela que "la emisión de C hacia la atmósfera, por efecto de la quema de una parte de la biomasa aérea de la caña de azúcar, es menor que la captura o secuestro de C que realiza esa biomasa, por lo que el balance favorece la captura". También destaca que el C total perdido del agroecosistema cañero resulta similar o menor al capturado por la biomasa aérea, por lo que el balance neto tiende a cero o es positivo. Finalmente puntualiza que si bien no se incide directamente en la contaminación atmosférica por el incremento de la concentración de C, el daño ocasionado al suelo es un elemento a tener en cuenta para la toma de decisiones en cuanto a eliminar el uso de la quema para la cosecha.

Los impactos del cambio climático más sentidos en la Cuenca 64 en los recursos hídricos van desde escasez de agua, deterioro de la calidad del agua, también en el impacto hacia las personas destacan deterioro de la calidad de vida y de la salud por aumento de periodo de sequía e incremento de temperatura, daños a la infraestructura. La parte más débil está en la medición del grado de impacto que ha habido a los recursos hídricos que sólo puede ser determinado a través de la medición de parámetros climáticos e hídricos (por ejemplo deterioro de calidad de agua subterránea demostrado en 2015 por medio de la toma de análisis de calidad anuales, ver acápite 4.2). Otra tarea pendiente es realizar los modelajes con los datos suficientes para que las proyecciones tengan un margen de error menor. Las proyecciones climáticas a nivel de cuenca también están dentro de los planes sectoriales que deben elaborarse.

Además es necesario evaluar los impactos humanos directos hacia los recursos hídricos que son considerados factores agravantes adicionales a las afectaciones del cambio climático. La extracción de agua sin regulación es un ejemplo claro de factor agravante, además del uso de sistemas de riego de alto consumo y tratamiento deficiente de desechos sólidos y líquidos.

Los pasos siguientes después de valorar los impactos de cambio climático es identificar las opciones de adaptación y mitigación dentro de la cuenca. En este caso se identificaron medidas de adaptación que se realizaron en un proceso de consulta con el grupo interinstitucional: MARENA, INETER, FISE, ENACAL, ANA; los grandes usuarios de la cuenca (ingenios), MAG, INTA y las autoridades locales (alcaldías de Quezalaguaque, León, Chinandega, Chichigalpa, Posoltega, El Viejo, Telica, La Paz Centro, El Realejo y Corinto).

13. Recomendaciones

- Continuar las observaciones meteorológicas con mejor regularidad y de abrir una quinta estación HMP en la parte sur-este de la cuenca (área de La Paz Centro-Nagarote)
- Construir una estación de aforo con observación continua en el centro de la cuenca, de preferencia en la subcuenca del río Telica.
- Medir el desarrollo del nivel estático a tiempo real.
- Proceder a un muestreo de pozos excavados en la cuenca, para medir la evolución de la calidad del agua.
- Aumentar los esfuerzos para coleccionar datos de escorrentía, flujo base y extracción en la cuenca.
- Detener el otorgamiento de concesiones nuevas para la extracción de agua subterránea en la C64 hasta que se logre determinar la cantidad exacta de agua extraída.
- Es necesaria una regulación urgente a través de la instalación de medidores de agua en al menos los pozos perforados ubicados en toda la cuenca.
- Con base al diagnóstico y las medidas de adaptación al cambio climático identificadas, considerar la elaboración del plan GIRH de la Cuenca 64, con los avances, hasta la fecha faltaría el taller de planificación participativa de las medidas con indicadores, hitos, resultados, plazos de cumplimientos y responsables.
- Para estudios a escala local se debería establecer zonificación hidrológica e hidrogeológica por las diferencias en pluviosidad demostradas en el diagnóstico.

C. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DE RECURSOS HÍDRICOS

1. Objetivo, características y funciones

Identificar, de forma participativa, las medidas necesarias para la corrección de la problemática identificada en el diagnóstico y prevenir los futuros problemas causados por posibles impactos del cambio climático.

Las medidas se relacionan a uno de los objetivos del diagnóstico:

Definir medidas correctivas y de regulación que permitan garantizar el uso sostenible y equitativo, así como una buena calidad del agua, mejorando la resiliencia de la cuenca frente a los posibles impactos del cambio climático.

Características y funciones de las medidas correctivas:

- Las medidas son el resultado de varios talleres realizados con una metodología participativa que involucró a los actores relevantes, públicos y privados del sector de agua en la Cuenca 64.
- Contienen acciones concretas cuya planificación fue propuesta por los participantes del taller.
- La responsabilidad para la implementación de las medidas está distribuida entre los diferentes actores de acuerdo con a sus competencias de ley y las características técnicas de los temas de intervención.
- Deben ser concretadas en un plan, a ser implementado en un plazo determinado de 3 años.
- El Plan de Medidas no sustituye la planificación que se requiere para la implementación de cada medida de los diferentes temas de intervención. Se necesita elaborar los Planes Operativos Anuales individuales.
- El Plan de Medidas también es un plan dinámico que debería ser actualizado después de 3 años o, si fuese necesario, durante su plazo. El monitoreo de su implementación debería ser efectuado de forma bimestral.

2. Los talleres de planificación

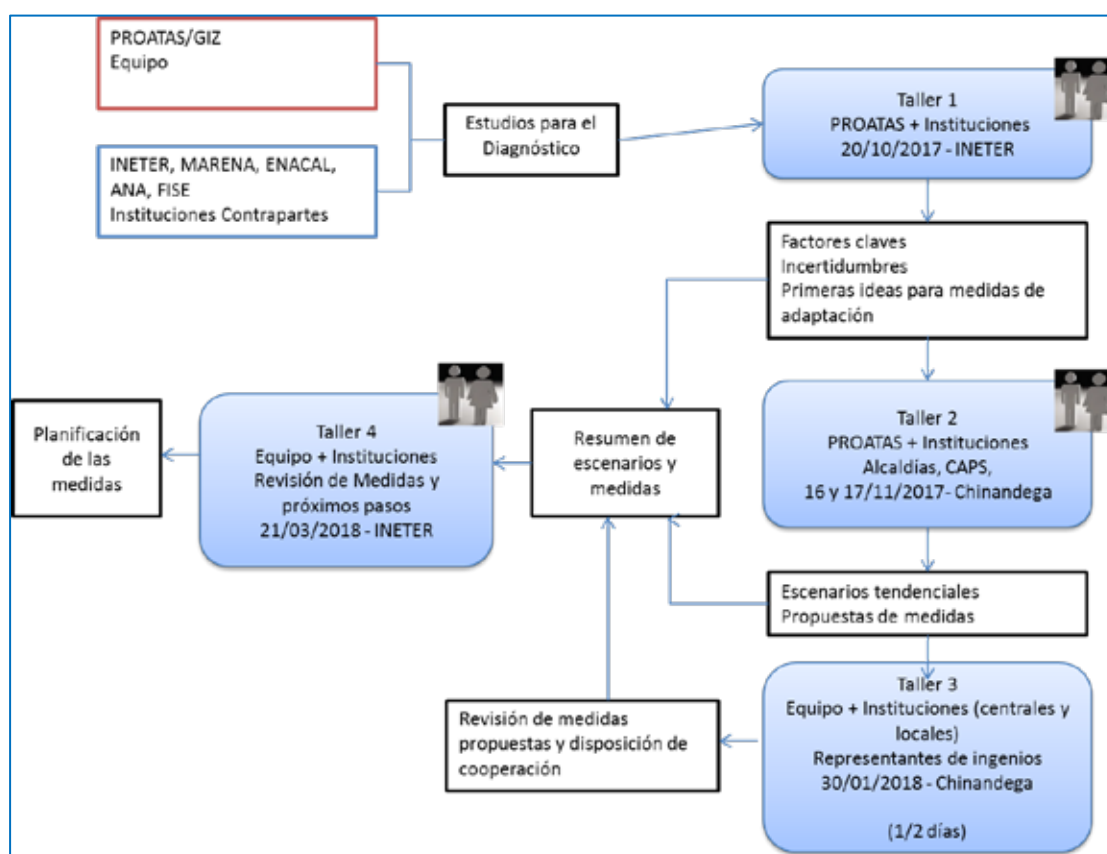
Se realizaron cuatro talleres de consulta y planificación, liderados por MARENA, con participación de las instituciones INETER, ENACAL, ANA y FISE, en su carácter de miembros del equipo interinstitucional para el Diagnóstico de los Recursos Hídricos.

Los objetivos, resultados y metodología fueron establecidos en coordinación con la Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas, la Dirección de Cambio Climático del MARENA, y el equipo de GIZ integrado por una investigadora de escenarios para la adaptación al cambio climático y asesores de PROATAS.

En la **figura 87** se presenta la ruta de los eventos, participantes y resultados obtenidos que fueron incorporándose y presentando en el taller subsiguiente hasta llegar a la identificación de las medidas.

Por el nivel de avance alcanzado con la elaboración del diagnóstico de los recursos hídricos y la identificación de las medidas de adaptación, faltaría un paso más para elaborar el plan de gestión de los recursos hídricos en la Cuenca 64, este sería la planificación más detallada de las medidas, donde se concreten indicadores, resultados, hitos, responsables, acompañamiento institucional, recursos humanos y financieros requeridos, así como el plazo de ejecución.

Figura 87. Proceso desarrollado para la identificación de las medidas de adaptación al cambio climático



2.1 Participación en los talleres

Se contó con la participación de MARENA en sus niveles central y territorial, las instituciones INETER, ANA, ENACAL, FISE, Ministerio de Agricultura, el Instituto Nacional Forestal, Instituto de Protección de Sanidad Agropecuaria, Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), las diez alcaldías ubicadas en la Cuenca 64, Representantes de Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), los más grandes usuarios del sector agroindustrial, Organismos no gubernamentales con presencia en la Cuenca 64, como son la Asociación Bremense de Investigación y Desarrollo de Ultramar (BORDAS), Ecología y Desarrollo (ECODES) y el equipo de GIZ.

En la **tabla 52**, se presenta el desglose de la participación por sexo y por representaciones de entidades públicas y privadas. La mayor participación de las entidades públicas, se dio en el primer y último taller, realizados en Managua. En el segundo y tercer taller, realizados en la ciudad de Chinandega, participaron las alcaldías, CAPS, ONG, grandes usuarios e instituciones.

Tabla 52. Participación por sexo y representación pública y privada

		Participación por sexo					
		39 mujeres					40 hombres
		49%					51%
Total 79 personas	Participación pública y privada						
	Instituciones públicas	Alcaldías	CAPS	ONG	Grandes usuarios (ingenios)		
	51	13	6	5	4		
	64%	17%	8%	6%	5%		

Agenda

La agenda en los distintos talleres fue estructurada en tres bloques, que se presentan en la **tabla 53**:

Tabla 53. Descripción de la agenda realizada en cada uno de los 4 talleres realizados.

	Primer taller (Managua)	Segundo taller (Chinandega ²⁵)	Tercer taller (Chinandega)	Cuarto taller (Managua)
Bloque 1	<ul style="list-style-type: none"> ● Hallazgos del diagnóstico. ● Metodología para escenarios. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Homologación de conceptos sobre GIRH. ● Resultados del diagnóstico de los recursos hídricos. ● Sensibilización sobre género y recursos hídricos. ● Metodología para escenarios. ● Construcción del modelo actual del escenario de la cuenca. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Presentación de medidas relevantes al uso de suelo y producción agrícola y forestal, identificadas en el segundo taller. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Presentación y validación de las medidas de ACC surgidas en los talleres anteriores.
Bloque 2	<ul style="list-style-type: none"> ● Trabajo de grupos para identificar hallazgos. ● Conclusión de grupos de trabajo. ● Visualización de tendencias. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollo de escenarios futuros de la cuenca. ● Compartir e integrar escenarios. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Discusión entre grandes usuarios e instituciones públicas del sector agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Entrega a las instituciones de la versión borrador del diagnóstico de los recursos hídricos.
Bloque 3	<ul style="list-style-type: none"> ● Participación y disponibilidad de datos para modelaje. ● Enfoque de género en la GIRH. ● Propuestas de medidas para llevarlas al taller local en Chinandega. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Selección de medidas. ● Completar propuestas. ● Integrar propuestas y priorización. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elaboración de propuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acordar próximos pasos.

²⁵ El taller fue de dos días

3. Metodología

En vista que para la Cuenca 64 ya existían varios estudios, estrategia y planes de acción en el tema de cambio climático y medidas de adaptación del sector hídrico, se acordó con el grupo interinstitucional no partir de cero y actualizar a partir de los datos del diagnóstico de los recursos hídricos, la problemática de ellos y la identificación de soluciones. Previo al primer taller se efectuó una reunión con la finalidad de discutir e intercambiar sobre los aspectos metodológicos que debería contener.

En el taller se debía destacar tanto el conocimiento de los aspectos importantes que demostró el diagnóstico y la reflexión sobre ellos, como la identificación de propuestas de medidas de adaptación al cambio climático por las instituciones. Se identificaron herramientas metodológicas para promover por un lado el enfoque de género, el análisis y la reflexión sobre la temática, y por otro la interacción, cooperación e intercambio entre los participantes.

Antes de la realización de cada taller, se efectuó una sesión de trabajo con la facilitadora para organizar la conducción de los grupos y uniformar los criterios y aspectos metodológicos a seguir. Se explicaron los roles a desarrollar por los diferentes miembros del equipo durante la implementación de los trabajos de grupo en diferentes momentos. El hilo conductor entre los talleres fueron los resultados del diagnóstico y los análisis, reflexiones y acuerdos entre los grupos de trabajo.

4. Problemas identificados y sus cadenas causales

En el esquema siguiente se presentan los problemas de los recursos hídricos, sus causas e impactos, según los hallazgos del diagnóstico, complementados con la información resultante de los talleres participativos.

4.1 Contaminación y degradación de la calidad de aguas superficiales y subterráneas

Causa			Impacto			
Aguas residuales urbanas	Falta de sistema de saneamiento		Desagüe a cielo abierto	Contaminación de las aguas superficiales	Deterioro de la flora y fauna y del balance ecológico río abajo de la contaminación	Aprovechamiento restringido del agua
	Sedimentos, desechos sólidos, inadecuado drenaje pluvial	Pérdida de efectividad de operación de las plantas de tratamiento	Coliformes fecales y sólidos suspendidos totales exceden valores mínimos Decreto 33-95		Riesgo de enfermedades propagadas por el agua especialmente para niños.	
	Infraestructura de saneamiento obsoleta					
Aguas residuales industriales	Falta de planta de tratamiento		Infiltración	Contaminación del acuífero	Riesgo de contaminación a pozos de suministro de agua potable	Costos de depuración y de suministro de agua potable a las comunidades afectadas
	Falta de monitoreo constante para verificar tratamiento a las aguas residuales					
Vertidos sólidos y líquidos de vertederos y rastros municipales	Botaderos a cielo abierto o ubicados cerca de los ríos		Infiltración de lixiviados y distribución de desechos en cursos de ríos	Contaminación de los ríos y de los acuíferos por coliformes fecales, pesticidas. Sedimentación	Muerte de flora y fauna	Aumento de intoxicación humana
	Falta de planta de tratamiento en rastros		Desagüe a cuerpos de agua			
Uso de pesticidas	Aplicación, lavados de envase o equipos en cuerpos de agua, descarga de remanentes o residuos					
Deposición de heces fecales humana y del ganado	Falta de letrinas mejoradas		Infiltración y deposiciones en las fuentes de agua		Deterioro de la flora y fauna y del balance ecológico río abajo de las contaminaciones.	Aprovechamiento restringido del agua
	Pozos cerca de los ríos y letrinas sin medidas de protección					
	Bebedores de ganado en los ríos					
Disminución de cobertura vegetal	Arrastre de suelos por escorrentía		Sedimentación			

4.2 Débil proceso de gobernanza de los recursos hídricos

Causa			Impacto		
Insuficiente presupuesto institucional para aplicación de la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620).	Incumplimiento de mandatos por las instituciones competentes	Falta establecimiento del Organismo de Cuenca	Sobreexplotación de los recursos hídricos y apropiación del agua	Escasez de los recursos hídricos.	Valor agregado en la cuenca está reducido
		Recursos hídricos no son vistos como propiedad pública.			
		Poco seguimiento a las concesiones otorgadas			
		Falta funcionamiento efectivo del Comité de la Cuenca 64			
Poco impulso de procesos de modernización y tecnificación del uso del agua por el sector agrícola e industrial.	No existe fomento al reúso de aguas residuales tratadas	Se utiliza agua de primer uso (potable) para actividades que pueden utilizar agua de menor calidad	Acceso a los recursos hídricos y a su aprovechamiento restringido	Discriminación de otros usuarios.	Suministro de agua potable y para uso doméstico insuficiente
	Poca prioridad de recursos financieros para el tratamiento de aguas residuales			No hay decidida protección de los requerimientos de agua de los ecosistemas	
Falta información sistematizada de forma periódica sobre estado del recurso hídrico	Gobiernos locales y sector privado sin información más desagregada para elaborar sus políticas			Conflictos de acceso y distribución de agua.	

4.3 Escasa cobertura de monitoreo continuo, cualitativo y cuantitativo de los recursos hídricos

Causa  **Impacto**

Débil capacidad institucional y financiera	No hay monitoreo continuo especialmente de aguas subterráneas (piezómetros)	Falta acceso a datos e informaciones sobre la cantidad, disponibilidad (oferta) y calidad de los recursos hídricos	Falta de líneas base para el otorgamiento de derechos de agua	Debilidad en la planificación y gestión de demanda de agua	Abastecimiento deficiente de los usuarios de agua y distribución arbitraria
	Falta información confiable, actualizada y pertinente en formato accesible a instituciones y usuarios		Contaminaciones no pueden ser detectadas	Problemas en garantizar el suministro de agua potable	Posibles efectos negativos a la economía local

4.4 Matriz de medidas de adaptación al cambio climático

Para la Cuenca 64, las medidas identificadas y priorizadas se muestran en la **tabla 54**. La matriz está compuesta de cinco columnas, detallándose en ellas:

- Número de la medida
- Medida de ACC
- Objetivo de la medida
- Involucrados en la ejecución de las medidas

Cabe señalar que la solicitud del Gobierno de Nicaragua ante la Cooperación Alemana fue llegar hasta la identificación de las medidas. Queda como paso siguiente a la entrega del diagnóstico y medidas de ACC, la decisión del Gobierno de Nicaragua en continuar hacia la planificación participada y detallada de las medidas, que incluyan indicadores, resultados, hitos, responsables, acompañamiento institucional, recursos humanos, recursos financieros y plazos.

Tabla 54. Medidas de Adaptación al Cambio Climático

No.	Medida de adaptación	Objetivo	Involucrados	Requerimiento para la implementación
1	Educación y capacitación en el manejo del recurso hídrico.	Promover el desarrollo de una cultura en el uso eficiente y racional del agua, como un estilo de vida y cambio de actitud en los hábitos de consumo.	MINED, MARENA, empresas	Mecanismos de gestión y coordinación interinstitucional existentes. Establecer alianzas con empresas del sector privado, programas y proyectos de cooperación.
2	Ordenamiento de uso del suelo de acuerdo a su potencial.	Utilizar el recurso suelo acorde con su potencial, estableciendo prácticas y manejos adecuados para las diferentes actividades productivas.	MARENA y ANA, facultados por la Ley, INETER para elaboración de estudios, Alcaldías para aplicar ordenanzas	Fortalecimiento de espacios y mecanismos de concertación territorial.
3	Manejo del suelo de acuerdo a las recomendaciones del plan municipal de ordenamiento y desarrollo municipal.	Revisar los procesos de degradación medioambiental de las cuencas, disminuyendo la pérdida de suelo por erosión de las áreas agrícolas.	MARENA, INAFOR, alcaldías y empresa privada (ingenios, plataneros)	Elaborar criterios para selección de áreas críticas erosionadas a priorizar. Detallar las zonas de reforestación bajo los criterios de manejo de cuencas y protección hídrica. Partir de los mapas de áreas de reforestación de MARENA e INAFOR y detallar a nivel local involucrando a actores locales. Considerar rotación de cultivos para reducir erosión.
4	Regulación, control de concesiones de uso y aprovechamiento de las aguas.	Contribuir a que este regulado el uso y aprovechamiento del recurso hídrico por grandes usuarios.	ANA y alcaldías	Capacitar a las alcaldías sobre procesos administrativos de concesiones, especialmente con respecto a las toma de decisiones a nivel de alcaldía y de ANA. Realizar catastro de extracciones superficiales.

5	Tecnología de riego eficiente para el agro e incentivos.	Incidir en el cambio de tecnología para ahorro de agua.	MARENA, MAG, INTA, IPSA e ingenios	Homogenizar la tecnología (variedades de caña, tipos de riego innovadores) más eficiente en el uso de agua. Gestionar conocimientos sobre diseño y manejo de sistemas de riegos, habilidades y experiencias de operarios. Transferir los criterios de certificaciones de los ingenios también a tierras de colonos que producen para los ingenios, por ejemplo, reducir quema de caña en fincas de colonos (como incentivo para una certificación).
6	Cosecha de agua y recarga hídrica.	Mejorar el aprovechamiento de aguas superficiales.	MEFCCA, INETER, Universidades	Generar criterios para delimitar zonas con potencial para cosecha de agua. Determinar criterios para zonas de infiltración.
7	Mejora del sistema de distribución de agua potable y alcantarillado sanitario.	Mejorar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.	ENACAL, GIZ	ENACAL está implementando las mejoras con Programas de Cooperación Internacional
8	Monitoreo de los recursos hídricos.	Medir los parámetros del ciclo hídrico (principalmente escorrentía, lluvia, evaporación y recarga) a mediano y largo plazo para poder realizar balances hídricos anuales y correlacionar los parámetros con los efectos del cambio climático.	INETER y alcaldías para monitoreo de recursos hídricos.	Fortalecer mecanismos de coordinación INETER y alcaldías. Institucionalizar en alcaldías la rutina de monitoreo de 180 pozos (calidad y cantidad).
9	Monitoreo de vertidos.	Mejorar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.	MARENA, INIFOM, empresas y universidades para el monitoreo de vertidos	Oficialización por MARENA del Sistema Límites Máximos Permisibles de Vertidos (LMP-V) para la aplicación de la norma regulatoria (Decreto 21-2017: Disposiciones para el vertido de aguas residuales)

D. ANEXOS

1 Tablas:

1.1 Caudal de los ríos

Estación	Fecha	Q promedio (m ³ /s)	Nivel de agua (m)
Río Atoya	19/03/2016	0.068	S/N
Río Los Arcos Puente El Trapiche	21/03/2016	0.132	S/N
Río La Leona en puente	21/03/2016	0.131	S/N
Río Telica en La Solana	22/03/2016	1.356	S/N
Río Posoltega El Trianon	29/03/2016	0.906	S/N
Río Chiquito La Gallina	29/03/2016	0.585	S/N
Estación	Fecha	Q promedio (m ³ /s)	Nivel de agua (m)
Río Los Arcos Puente El Trapiche	27/04/2016	0.107	0.2
Río Posoltega El Trianon	27/04/2016	1.085	0.4
Río Atoya en Pedro Pablo Martínez	28/04/2016	0.057	0.24
Río Chiquito La Gallina	28/04/2016	0.682	0.4
Río Telica en La Solana	28/04/2016	1.56	0.41
Río La Leona en puente La Leona	29/04/2016	0.2	0.23
Estación	Fecha	Q promedio (m ³ /s)	Nivel de agua (m)
Río Atoya en Pedro Pablo Martínez	16/05/2016	1.405	0.3
Río Posoltega El Trianon	16/05/2016	1.03	0.26
Río Telica en La Solana	17/05/2016	1.73	0.88
Río Chiquito La Gallina	17/05/2016	0.994	0.47
Río La Leona en puente La Leona	18/05/2016	0.204	0.24
Río Los Arcos puente El Trapiche	18/05/2016	0.256	0.16
Estación	Fecha	Q promedio (m ³ /s)	Nivel de agua (m)
Río Atoya en Pedro Pablo Martínez	18/06/2016	0.743	0.51
Río Posoltega El Trianon	17/06/2016	1.418	0.29
Río Telica en La Solana	17/06/2016	1.654	0.68
Río Chiquito La Gallina	17/06/2016	0.909	0.44
Río La Leona en puente La Leona	16/06/2016	0.616	0.32
Río Los Arcos puente El Trapiche	16/06/2016	0.273	0.17
Santa Cruz en puente	18/06/2016	0.062	0.26
Tamarindo en Las Limas	19/06/2016	0.185	0.23
San Gabriel en Patastule	19/06/2016	0.029	0.06
Estación	Fecha	Q promedio (m ³ /s)	Nivel de agua (m)
Río Atoya en Pedro Pablo Martínez	27/07/2016	0.276	
Río Posoltega El Trianon	28/07/2016	1.279	0.25
Río Telica en La Solana	26/07/2016	1.508	0.58
Río Chiquito La Gallina	28/07/2016	0.77	0.41
Río La Leona en puente La Leona	26/07/2016	0.134	0.2
Río Los Arcos puente El Trapiche	26/07/2016	0.234	0.19

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

Río Tamarindo en Las Limas	25/07/2016	0.045	0.11
Río San Gabriel en Patastule	25/07/2016	0.023	0.02
Estación	Fecha	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Río Atoya en Pedro Pablo Martínez	01/09/2016	0.893	0.34
Río Posoltega El Trianon	02/09/2016	1.214	0.25
Río Telica en La Solana	02/09/2016	1.58	0.65
Río Chiquito La Gallina	02/09/2016	2.2	0.66
Río La Leona en puente La Leona	03/09/2016	0.2	0.26
Río Los Arcos puente El Trapiche	03/09/2016	0.22	0.2
Río Tamarindo en Las Limas	04/09/2016	0.086	0.15
Río San Gabriel en Patastule	04/09/2016	0.058	0.04
Santa Cruz en Puente	01/09/2016	0.322	0.34
Estación	Fecha	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Río Posoltega en Manchester	10/11/2016	2.905	S/N
Amalia	10/11/2016	4.412	S/N
Estación	Fecha	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Los Mangles	10/11/2016	0.536	S/N
Tesorero	11/11/2016	0.974	S/N
Las Lajas	11/11/2016	0.689	S/N
San Isidro	11/11/2016	0.93	S/N
Telica en la Solana	17/11/2016	1.435	0.59
Estación	Fecha	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	19/12/2016	1.175	S/N
Amalia San Rafael	19/12/2016	0.620	S/N
Las Mangles en poza Las Brujas	19/12/2016	0.337	S/N
Tesorero La Bateria	15/12/2016	0.115	S/N
Las Lajas La Coquimba	15/12/2016	0.284	S/N
San Isidro en Puente	19/12/2016	0.601	S/N
Telica en la Solana	14/12/2016	1.460	0.50
Chiquito en la Gallina	14/12/2016	0.908	0.40
Santa Cruz en Puente	15/12/2016	0.212	0.34
Estación	Fecha	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	13/01/2017	0.229	S/R
Las Mangles en poza La Bruja	13/01/2017	0.231	S/R
Tesorero en La Bateria	15/12/2016	0.022	S/R
Las Lajas en La Coquimba	15/12/2016	0.071	S/R
San Isidro en Puente	15/01/2017	0.202	S/R
Telica en la Solana	14/01/2017	1.336	0.42
Santa Cruz en Puente	15/01/2017	0.038	0.30
Estación	FECHA	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	17/02/2017	0.095	S/R
Las Mangles en poza La Bruja	17/02/2017	0.127	S/R
Tesorero en La Bateria	16/02/2017	0.010	S/R
Las Lajas en La Coquimba	16/02/2017	0.047	S/R
San Isidro en Puente	16/02/2017	0.142	S/R
Telica en la Solana	18/02/2017	1.211	0.39
Santa Cruz en Puente	16/02/2017	0.004	0.15

Atoya en Pedro Pablo Martinez	18/02/2017	0.268	0.30
Estación	FECHA	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	10/03/2017	0.0980	
Los Mangles Poza la Bruja	10/03/2017	0.1015	
Tesorero la Bateria	11/03/2017	0.0055	
Las Lajas la Coquimba	11/03/2017	0.0215	
San Isidro en Puente	09/03/2017	0.1080	
Telica en la Solana	11/03/2017	1.1260	0.39
Atoya Pedro Pablo Martinez	09/03/2017	0.1570	0.33
Estación	FECHA	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	07/04/2017	0.140	S/R
Posoltega en el Trianon	08/04/2017	0.777	0.27
Los Mangles en poza La Bruja	07/04/2017	0.075	S/R
Tesorero en La Bateria	Río seco	0	
Las Lajas en La Coquimba	09/04/2017	0.014	S/R
San Isidro en Puente	Río represado		
Telica en la Solana	08/04/2017	1.088	0.38
Atoya en Pedro Pablo Martinez	08/04/2017	0.087	0.31
Estación	FECHA	Q promedio (m³/s)	Nivel de agua (m)
Posoltega en Manchester	23/05/2017	2.0445	
Los Mangles Poza la Bruja	23/05/2017	0.1225	
Tesorero La Bateria	23/05/2017	0.1910	
Las Lajas la Coquimba	23/05/2017	0.0380	
Atoya Pedro Pablo Martinez	24/05/2017	0.6005	0.47
San Isidro en Puente	24/05/2017	0.1870	
Posoltega en el Trianon	24/05/2017	1.2190	0.20
Telica en la Solana	25/05/2017	1.5190	0.60

1.2 Resultados de los parámetros físicos químicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64

ID-Ítem	Lugar o comunidad	X	Y	Fecha	pH	CE (µS/cm)	T (C°)	SDT	Turbidez (UNT)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
AN-1266	Río Ojoche	507773	1373586	05/12/2014	7.74	350	31.3	245.24	4.1	132	128.67
AN-1267	Río Chiquito, El Volantín	501904	1368914	05/12/2014	7.64	466.2	30.3	293.68	9.8	178	131.16
AN-110	Confluencia estero Real Y río Chiquito	506347	1363291	02/02/2015	8.25	500	32.4	318.52	14.6	221.05	168.4
AN-1292	Salinas Grande	513302	1356926	11/12/2014	7.86	23500	30	16357.63	22.7	140	3208.55
AN-1265	Río Telica	515663	1383929	05/12/2014	7.86	566.8	31.3	359.79	7.9	224.05	249.3
AN-1264	Río Quezalguaque	510180	1382252	05/12/2014	7.92	744.1	31.5	462.13	18.5	258.05	286.92
AN-1268	Estero La Bocana	494334	1369809	05/12/2014	8.1	3330	29.06	1910.92	69.2	226.05	520.3
AN-1263	Estero El Barquito	488301	1377129	05/12/2014	8.05	4270	25.5	2404.79	22.8	224.05	560.15
AN-1252	Río Carbonero	496945	1386932	04/12/2014	7.71	534	31.05	329.26	2.9	230.05	222.55
AN-1253	Río Sucio	493313	1383077	04/12/2014	4.65	843	36.8	487.17	450.00	240.05	397.17
AN-1262	Río Amalia	488021	1380639	05/12/2014	8.16	666.1	25.7	406.09	13.20	290.05	306.2
AN-1251	Río Acome, Comarca El Raizal	481557	1394424	04/12/2014	7.76	501	32.7	307.78	35.90	190	173.55
AN-1249	Río Atoya, Venecia	477716	1400744	04/12/2014	8.09	390	26.5	243.20	12.00	180	178.3
AN-1250	Río Mapachín, Cayán	474652	1391696	04/12/2014	7.53	571	27.5	345.53	2.2	264.05	269.88
AN-1290	Estero Madera Negra	471975	1389999	11/12/2014	7.78	1334	26.5	750.62	14.09	170	256.1
AN-1291	Río Posoltega, El Triañon	500721	1383812	11/12/2014	7.77	440	32.6	296.62	4.4	170	175.05
AN-1422	Río Las Chilcas, Tom Valle	465328	1405355	09/12/2015	8.13	395	27.01	248.47	3.40	199	178
AN-1423	Río Viejo, La Picota	462715	1401559	09/12/2015	8.06	391.5	27.9	243.33	3.40	190.05	173
AN-1424	Afluente Atoya	474597	1396195	09/12/2015	7.87	372	28.9	240.20	9.40	169.0	165.0
AN-1425	Río Atoya, San Jerónimo	477063	1397877	09/12/2015	7.9	388	28.6	248.25	14.50	171	170
AN-1426	Río San Isidro	480970	1389689	09/12/2015	7.97	385	29	250.61	7.30	165	168
AN-1427	Río El Realejo	481690	1386182	09/12/2015	7.7	7340	29.3	4363.81	10.40	184	916
AN-1428	Río Telica, Paso De Laja	515327	1383979	09/12/2015	7.21	567	29.6	369.23	2.80	226.05	248
AN-1403	Río Santa Cruz, Comarca Tom Valle	463568	1406534	03/12/2015	8.12	391	28.5	269.41	3.60	185	169
AN-1404	Inicio río Atoya, Comarca Ceilán	474144	1392695	03/12/2015	7.91	440	27.5	301.74	25.17	185	182
AN-1405	Río Acome, Comarca El Raizal	481582	1394624	03/12/2015	8.09	528	33.9	347.75	14.60	201	173
AN-1406	Afluente San Agustín (Mitapán), río Posoltega	499623	1379505	03/12/2015	8.05	400	29.1	254.95	4.20	135	152
AN-1407	Río Posoltega, El Triañon	497905	1379775	03/12/2015	7.72	639	28.9	446.31	5.50	215.05	232
AN-1408	Quezalguaque afluente del río Telica	510180	1382252	03/12/2015	7.52	770	31	518.84	12.60	250.05	305
AN-060	Estero El Tamarindo	525954	1351218	18/01/2016	7.8	61800	27.7	3775.00	4.80	154.02	6570
AN-062	Río Los Arcos	524926	1356314	18/01/2016	8.56	362	31.29	252.76	1.80	168.02	133
AN-064	Río Grande de Las Leonas	518834	1364263	18/01/2016	8.34	285	29.8	211.74	2	125	97
AN-098	Río Las Chilcas, Tom Valle	465328	1405355	25/01/2016	7.9	391	24.9	237.01	7.4	196.02	182
AN-097	Río El Viejo, La Picota	462715	1401559	25/01/2016	7.93	410	24	252.02	2.4	196.02	184

ID-Lab	Lugar o comunidad	X	Y	Fecha	pH	CE (µS/cm)	T (C°)	SDT	Turbidez (UNT)	Alcalinidad (mg/l)	Dureza Total (mg/l)
AN-099	Estero de Aserradores, El Pedregal	466229	1400081	26/01/2016	7.95	67600	26.2	38506.37	8.2	150.02	6775
AN-100	Afluente Atoya, Germán Pomares	474597	1396195	25/01/2016	7.82	470	25.9	295.88	3.1	218.05	207
AN-101	Río Atoya, San Jerónimo	477218	1398367	25/01/2016	7.92	382	26.7	245.79	3.30	164.0	161.0
AN-104	Río San Isidro	481258	1389548	26/01/2016	8	379	7.83	248.15	2.4	164	167
AN-102	Río El Realejo	481579	1386088	25/01/2016	7.98	13210	28.3	8083.061	12.2	183	1600
AN-103	Río El Tesorero, comarca Mono Chingo	483866	1385719	25/01/2016	8.25	455	26.7	290.13	0.7	216.05	193
AN-061	Río Tamarindo	530116	1352345	18/01/2016	7.92	52900	29.3	32940.87	11.05	180.02	5660
AN-063	Confluencia estero Real Garitas y Salinas Grandes	513232	1357204	18/01/2016	7.95	48900	29.5	30959.63	5.6	128.01	5240
No se incluyen los valores máximos admisibles de las normas CAPRE porque los sitios analizados corresponden a muestras de ríos que no son usadas para fines de agua potable											

1.3 Resultados de los análisis físicos químicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64

(Las unidades de medida de los cationes y aniones en mg/l)

ID-Lab	Fecha	K	Na	Mg ²	Ca ²	Fe ²	CO ₃	HCO ₃	Cl	SiO ₂	SO ₄	NO ₃	NO ₂	F	NH ₄
AN-1266	05/12/2014	7.91	23.97	12.4	31.13	0.48	<id	161.09	14.94	97.07	11.96	18.35	2.628	<id	
AN-1267	05/12/2014	10.07	37.93	0.25	32.55	0.92	<id	217.23	25.17	94.65	20	4.77	3.449	<id	
AN-110	02/02/2015	8.68	42.66	16.4	40.44	15.88	<2.00	269.71	24.94	36.73	15.23	<0.25	0.013	0.51	
AN-1292	11/12/2014	186.89	5171.13	650.77	212.8	1.23	<id	170.86	8760.51	40.07	1246.36	14.03	0.056	8.2	
AN-1265	05/12/2014	10.67	21.81	26.05	56.96	0.51	<id	273.37	17.21	82.2	46.16	8.07	0.02	<id	
AN-1264	05/12/2014	15.02	13.12	38.33	51.79	1.65	<id	314.36	48.43	100.88	56.07	14.38	0.01	<id	
AN-1268	05/12/2014	23.78	511.47	84.27	69.56	3.16	<id	275.81	886.34	80.19	155.62	6.76	0.036	<id	
AN-1263	05/12/2014	29.49	696.79	97.8	63.23	0.68	<id	273.37	1155.99	76.96	184.94	5.71	0.076	0.42	
AN-1252	04/12/2014	8.15	27.87	26.84	44.93	0.55	<id	280.69	9.6	84.4	26.44	7.94	0.756	<id	
AN-1253	04/12/2014	41.66	29.49	31.83	106.7	1.2	<id	292.9	23.81	103.68	31.93	<id	<id	29.25	
AN-1262	05/12/2014	8.44	27.59	34.7	65.52	0.29	<id	353.92	18.99	76.78	31	8.99	0.117	<id	
AN-1251	04/12/2014	15.47	26.55	16.73	41.97	2.45	<id	291.87	21.45	74.57	21.44	15.31	1.183	<id	
AN-1249	04/12/2014	3.69	16.62	17.21	43.09	0.91	<id	219.67	5.44	69.45	7.55	9.3	0.072	<id	
AN-1250	04/12/2014	1.41	25.75	27.09	63.5	0.18	<id	322.19	20.05	60.32	16.33	4.77	0.053	<id	
AN-1290	11/12/2014	10.83	181.37	34.53	45.71	0.59	<id	207.47	269.24	71.36	57.17	16.41	0.427	<id	
AN-1291	11/12/2014	8.78	26.23	16.98	42.16	0.32	<id	207.47	11.73	96.26	22.29	22.45	0.03	<id	
AN-1422	09/12/2015	2.29	15.8	12.64	50.5	0.24	<2	242.86	7.52	66.52	5.53	3.69	0.03	<0.25	0.027
AN-1423	09/12/2015	2.49	16.4	12.39	49.9	0.27	<2	231.88	7.97	64.7	6.33	4.55	0.03	<0.25	0.017
AN-1424	09/12/2015	3.49	14.4	15.55	40.48	0.86	<2	206.25	8.43	72.83	9.32	12.76	0.079	0.31	0.064
AN-1425	09/12/2015	3.79	15	16.28	41.28	1.29	<2	208.69	10.63	73.73	11.19	12.68	0.46	0.33	0.461
AN-1426	09/12/2015	4.09	15.5	15.07	42.48	0.6	<2	201.37	9.83	81.35	11.98	14.19	0.046	0.44	0.075
AN-1427	09/12/2015	47.8	1208	165.73	93.79	0.74	<2	224.55	2408.57	70.33	291.06	5.58	0.115	<0.25	0.31

ID-Lab	Fecha	K	Na	Mg ²	Ca ²	Fe ²	CO ₃	HCO ₃	Cl	SiO ₂	SO ₄	NO ₃	NO ₂	F	NH ₄
AN-1428	09/12/2015	10.16	21.2	26	56.51	0.17	<2	275.81	19.45	94.16	45.45	10.54	0.03	0.27	0.088
AN-1403	03/12/2015	2.1	17.2	12.15	47.7	0.17	<2	225.77	6.98	65.52	4.72	2.04	0.01	<0.25	0.014
AN-1404	03/12/2015	4.98	18.9	17.01	44.89	4.19	<2	225.77	12.56	71.12	11.51	9.49	0.4127	0.28	0.442
AN-1405	03/12/2015	11.36	29.4	15.55	43.69	0.72	<2	245.3	25.76	77.32	18.59	5.08	1.643	0.4	6.937
AN-1406	03/12/2015	7.47	18.2	16.28	34.07	0.3	<2	164.75	14.34	89.35	24.98	16.3	0.036	0.54	0.28
AN-1407	03/12/2015	6.58	39.4	22.6	55.71	0.4	<2	262.39	42.35	94.16	53.53	2.39	0.023	0.56	0.44
AN-1408	03/12/2015	1.1	32.6	37.91	59.72	1.06	<2	305.1	55.98	103.78	63.18	14.2	0.005	0.34	0.019
AN-060	18/01/2016	417	11200	1341.36	420.84	0.54	<2	187.94	21437.14	6.74	2819.21	41.07	0.02	<0.25	0.021
AN-062	18/01/2016	9.06	28.8	13.85	30.46	0.21	5.4	205.03	18	87.55	8.65	1.74	0.016	0.46	0.769
AN-064	18/01/2016	7.46	22.4	9.72	22.85	0.51	<2	152.55	7.75	99.38	7.92	11.79	0.036	0.39	0.022
AN-098	25/01/2016	3.05	15.6	24.3	32.87	0.5	<2	239.2	6.38	65.11	4.93	1.83	0.03	<0.25	0.081
AN-097	25/01/2016	3.35	17.3	15.07	48.9	0.06	<2	239.2	7.65	67.12	6.4	4.36	0.043	<0.25	0.067
AN-099	26/01/2016	417.5	11046.17	1403.33	400.8	0.57	<2	183.06	22063.37	2.93	3048.72	35.1	<0.003	<0.25	0.052
AN-100	25/01/2016	3.25	20.5	16.28	56.11	0.1	<2	266.05	8.15	74.52	15.24	10.37	0.115	0.31	0.068
AN-101	25/01/2016	4.15	15.2	15.07	39.68	0.37	<2	200.15	14.36	75.74	12.35	10.75	0.46	0.42	0.783
AN-104	26/01/2016	3.85	14.4	15.07	42.08	<0.02	<2	200.15	10.12	82.14	11.52	13.94	0.033	0.37	0.109
AN-102	25/01/2016	96.6	2370.96	315.9	120.24	0.79	<2	223.33	4341.74	63.51	657.88	6.98	0.082	<0.25	0.162
AN-103	25/01/2016	6.25	23.5	23.09	39.28	0.08	<2	263.61	11.57	72.32	17.7	4.77	0.02	0.53	0.077
AN-061	18/01/2016	357	9612.5	1168.83	340.68	1.29	<2	219.67	18779.63	19.79	2521.36	33.07	0.039	<0.25	0.102
AN-063	18/01/2016	327	8962.5	320.64	1078.92	0.76	<2	156.21	17857.94	13.86	2294.57	27.39	0.005	<0.25	<0.0003

No se incluyen los valores máximos admisibles de las normas CAPRE porque los sitios analizados corresponden a muestras de ríos que no son usadas para fines de agua potable

DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA 64: ENTRE VOLCÁN COSIGÜINA Y RÍO TAMARINDO

1.4 Resultados de los análisis bacteriológicos de las aguas superficiales de la Cuenca 64

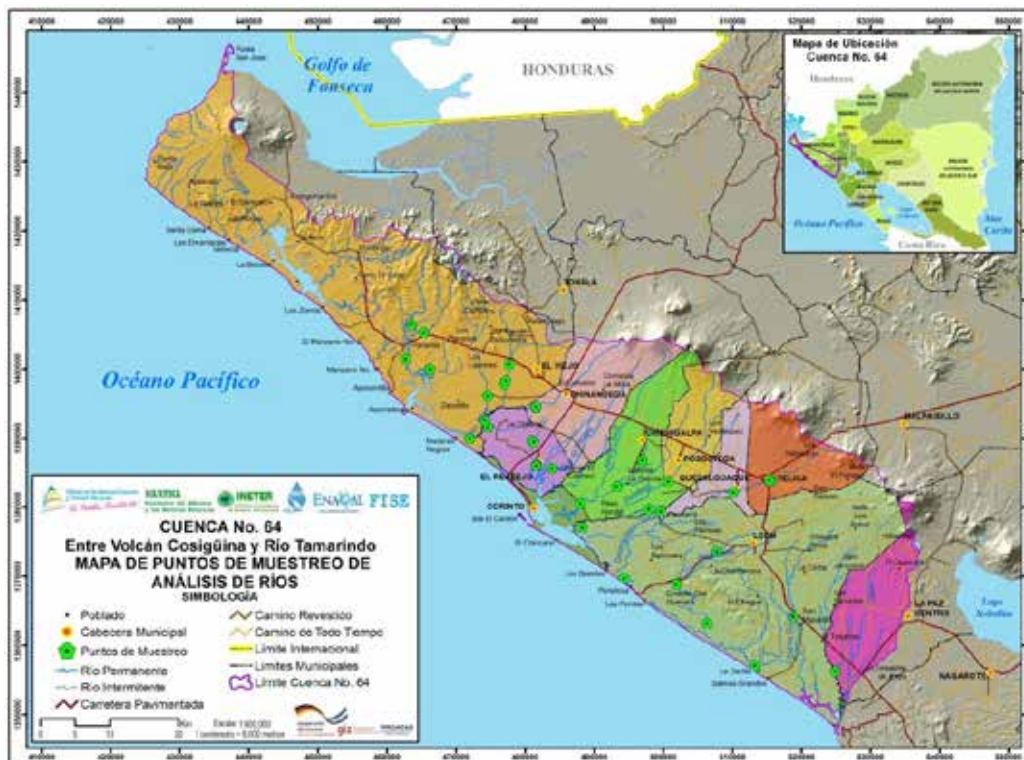
ID Lab	Lugar o Comunidad	Municipio	X	Y	Fecha	Coliforme total (NMP/100 ml)	Coliforme termotolerantes (NMP/100 ml)	E. Coli
MB-1830	Río Carbonero	Chichigalpa	496945	1386932	04/12/2014	9.20E+05	9.20E+05	5.40E+05
MB-1831	Río Sucio	Chichigalpa	493313	1383077	04/12/2014	4.60E+05	1.10E+04	7.80E+03
MB-1829	Río Acome, El Raizal	Chinandega	481557	1394424	04/12/2014	3.50E+05	1.70E+05	7.90E+04
MB-1827	Río Atoya, Venecia	El Viejo	477716	1400744	04/12/2014	4.90E+03	2.30E+02	1.30E+02
MB-1828	Río Mapachín, Cayán	El Viejo	474652	1391696	04/12/2014	2.30E+03	4.90E+02	3.30E+02
MB-1836	Río Ojoche	León	507773	1373586	05/12/2014	>1.60E+05	>1.60E+05	1.60E+05
MB-1837	Río Chiquito, El Volantín	León	501904	1368914	05/12/2014	2.40E+04	2.40E+04	1.30E+04
MB-1835	Río Telica	Telica	515663	1383929	05/12/2014	7.90E+03	4.90E+03	4.90E+03
MB-1834	Río Quezalaguaque	Quezalaguaque	510228	1381986	05/12/2014	4.90E+03	1.70E+03	7.90E+02
MB-1838	Estero La Bocana	León	494334	1369809	05/12/2014	1.30E+04	2.20E+03	3.80E+02
MB-1833	Estero El Barquito	Chichigalpa	488301	1377129	05/12/2014	3.30E+03	1.30E+03	7.90E+02
MB-1832	Río Amalia	Chichigalpa	488021	1380639	05/12/2014	1.70E+04	2.30E+03	2.30E+03
MB-1888	Río Salinas Grande	León	513302	1356926	11/12/2014	7.90E+03	1.40E+03	1.40E+02
MB-1886	Estero Madera Negra	El Viejo	471975	1389999	11/12/2014	3.30E+04	1.10E+04	2.20E+03
MB-1887	Río Posoltega, El Trianon	Posoltega	500721	1383812	11/12/2014	3.10E+03	2.30E+02	7.90E+01
MB-0168	Confluencia estero Real y río Chiquito	León	506347	1363291	02/02/2015	1.10E+03	7.90E+02	7.90E+02
MB-2222	Quezalaguaque, afluente río Telica	Quezalaguaque	510180	1382252	03/12/2015	3.30E+03	3.30E+0.3	3.30E+0.3
MB-2220	Afluente San Agustín (Mitapan), río Posoltega	Chichigalpa	499623	1379505	03/12/2015	3.30E+03	2.30E+02	2.30E+02
MB-2219	Río Acome, El Raizal	Chinandega	481582	1394624	03/12/2015	1.60E+06	1.60E+06	9.20E+05
MB-2221	Río Posoltega, El Trianon	Posoltega	497905	1379775	03/12/2015	1.70E+03	1.10E+03	1.10E+03
MB-2217	Río Santa Cruz, Comarca Tom Valle	El Viejo	463568	1406534	03/12/2015	2.30E+04	7.90E+02	7.90E+02
MB-2218	Inicio río Atoya, Comarca Ceylán	El Viejo	474144	1392695	03/12/2015	2.30E+04	2.20E+03	2.20E+03
MB-2244	Río Las Chilcas, Tom Valle	El Viejo	465328	1405355	09/12/2015	1.70E+03	7.00E+02	4.90E+02
MB-2245	Río Viejo, La Picota	El Viejo	462715	1401559	09/12/2015	9.40E+03	4.60E+02	4.60E+02
MB-2246	Afluente del río Atoya	El Viejo	474597	1396195	09/12/2015	3.30E+02	1.30E+02	7.90E+01
MB-2247	Río Atoya, San Jerónimo	El Viejo	477063	1397877	09/12/2015	3.10E+04	7.00E+03	4.90E+03
MB-2248	Río San Isidro	El Realejo	480970	1389689	09/12/2015	4.90E+03	7.90E+02	7.90E+02
MB-2249	Río El Realejo	El Realejo	481690	1386182	09/12/2015	7.90E+03	1.10E+03	1.10E+03
MB-2250	Río Telica, Paso de Laja	Telica	515327	1383979	09/12/2015	2.30E+03	2.30E+03	2.30E+03
MB-0046	Río Tamarindo	La Paz Centro	530116	1352345	18/01/2016	7.90E+02	4.90E+02	1.70E+02
MB-0047	Río Los Arcos	León	524926	1356314	18/01/2016	3.30E+03	1.30E+03	4.90E+02
MB-0048	Confluencia estero Real	León	513232	1357204	18/01/2016	1.70E+02	7.90E+01	7.90E+01
MB-0049	Garitas y Salinas Grandes	León	518834	1364263	18/01/2016	1.30E+04	3.30E+03	3.30E+03
MB-0094	Río El Viejo, comarca La Picota	El Viejo	462715	1401559	25/01/2016	3.30E+03	3.30E+03	3.30E+03
MB-0095	Río Las Chilcas, Tom Valle	El Viejo	465328	1405355	25/01/2016	7.90E+03	1.40E+03	1.40E+03
MB-0096	Estero De Aserradores, El Pedregal	El Viejo	466229	1400081	25/01/2016	4.50E+00	4.50E+00	4.50E+00
MB-0097	Afluente Atoya, German Pomares	El Viejo	474597	1396195	25/01/2016	1.30E+03	1.70E+02	1.70E+02
MB-0098	Río Atoya, San Jerónimo	El Viejo	477218	1398367	25/01/2016	4.90E+03	3.30E+03	1.70E+03
MB-0099	Río El Realejo	El Realejo	481579	1386088	25/01/2016	2.30E+04	4.90E+03	4.90E+03
MB-0100	Río El Tesorero, comarca El Mono Chingo	El Realejo	483866	1385719	25/01/2016	2.30E+03	3.30E+02	1.70E+02
MB-0101	Río San Isidro	El Realejo	481258	1389548	25/01/2016	3.30E+04	7.90E+02	3.30E+02
MB-0045	Estero El Tamarindo	La Paz Centro	525954	1351218	25/01/2016	7.90E+01	4.90E+01	4.90E+01

1.5 Situación de las aguas residuales

ID	X	Y	Nombre de la empresa	Actividad	Tipo de vertido	Municipio
1	515602	144884	Zona Franca Rio Real. CAMANICA , S.A.	Granja Camaronera Terramar	Doméstico	León/Salinas Grande
2	532423	1360277	Zona Franca Rio Real. CAMANICA. S.A	Zona Franca Rio Real S.A. Camanica	Industrial	La Paz Centro
3	494419	1396809	Granja Camaronera Salinita	Granja Camaronera Salinita	Doméstico	León/Poneloya
4	514896	1375866	Agroindustriales Oleaginosas. AGROSA , S.A	Complejo Industrial Agrosa	Industrial	León
5	514384	1357160	Zona Franca Rio Real	Granja Camaronera Terramar	Industrial	León/Salinas Grande
6	496499	1367361	Zona Franca. CAMANICA, S.A	Laboratorio Larvinic	Industrial	León/Poneloya
7	549726	1367361	Ormat Momotombo Power Company	Generación de energía geotérmica	Industrial	La Paz Centro
8	517367	1374609	Alcaldía Municipal de León	Urbanizadora utrech	Doméstico	León
9	535746	1365022	Planta Láctea Doña Erlinda	Lacteso Erlinda	Industrial	La Paz Centro
10	473917	1434490	Aquaculture Torrecillas I	Granja Camaronera	Doméstico	Corinto
11	479602	1382303	SAGSA DISAGRO	Planta de proceso d y empaque de fertilizantes	Industrial	Corinto
12	479271	1391451	Agrícola El Cardón S.A	Finca agrícola El Cardón	Agropecuario	El Realejo
13	365893	1418514	Venecia, Villas & Resort	Venecia, Villas & Resort	Doméstico	El Viejo
14	490354	1393856	Cargill de Nicaragua S.A	Star domésticas	Doméstico	Chinandega
15	483520	1398089	Concentrados del Agro (CONAGRO, S.A)	Planta mezcladora de materia prima para camarón	Doméstico	El Viejo
16	457560	1401250	Inversiones Internacionales Rio el Naranjo S.A	Rocky Point Urbanización	Doméstico	El Viejo
17	455500	1404150	Inversiones Internacionales Rio la Flora S.A	El Rosario	Doméstico	El Viejo
18	456150	1404800	Inversiones Internacionales del Sur S.A	El Rosario II	Doméstico	El Viejo
19	486732	1399511	Aceitera el Real S.A	Aceitera El Real	Industrial	Chinandega
20	453538	1405940	Laboratorio Semilla Acuáticas S.A	Producción de padrones	Doméstico	El Viejo
21	473954	1404730	Monte Rosa S.A	Star domésticas Monte Rosa	Doméstico	El Viejo
22	494496	1577407	La Guantanamera S.A	Granja Camaronera	Doméstico	El Viejo
23	477992	1447873	Estrada Romero Cia. Ttda.	Granja Camaronera	Doméstico	El Realejo
24	473954	1440730	Pantaleón S.A	Ingenio Azucarero Monte Rosa	Doméstico	El Viejo
25	462669	1395640	Marina Puesta del Sol	Complejo Turístico	Doméstico	El Viejo

2. Mapas temáticos

2.1 Mapa de puntos de muestreos de aguas superficiales



2.2 Mapa de puntos de muestreos químicos de aguas subterráneas



E. REFERENCIAS

1. Álvarez, J.A. 2009: Tectónica Activa y Geodinámica en el Norte de Centroamérica.
2. ANA; PROATAS-GIZ.2014: Plan de gestión integrada de recursos hídricos de la subcuenca Mayales.
3. ANA; PROATAS-GIZ.2017: Plan de gestión integrada de recursos hídricos de la Cuenca 72.
4. Banco Mundial; CIAT. 2015.: Agricultura climáticamente inteligente en Nicaragua. Serie de perfiles nacionales de agricultura climáticamente inteligente para África, Asia y América Latina y el Caribe. Washington D.C.: Grupo del Banco Mundial.
5. Bartram, J. y Balance, R. 1996. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. PNUMA/OMS
6. Cabrera J. A., y Zuaznábar C. 2010: Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del Carbono.
7. California Water Boards. 2010: Una guía para los dueños de pozos domésticos. Consejo estatal para el control de los recursos de agua/sección de agua subterráneas.
8. CATASTRO Y RECURSOS NATURALES. 1970: The water resources of Nicaragua. Final technical report, Vol II.
9. Centro de Investigación de Recursos Hídricos (CIRA) UNAN MANAGUA. 2016. Estudios biofísicos y socioeconómico de las subcuencas y micro cuencas hídricas del río Chiquito, municipio de León, León, Nicaragua.

10. COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 1999. Nicaragua: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente
11. Corriols, M. (2005): Estudio geofísico e hidrogeológico para la caracterización del acuífero Chinandega León (auspiciado por SIDA Suecia) UNAN- Managua.
12. De Loma-Ossorio, E.; García Ruiz, A.; Córdoba Salinas, M.; Ribalaygua Batalla, J. 2014: Estrategias de adaptación al cambio climático en municipios de Nicaragua del Golfo de Fonseca, Instituto de Estudios del Hambre, Madrid, España.
13. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2009: Manual para profesionales: información para una adaptación eficaz de cambio climático. Eschborn.
14. ENACAL-PROATAS. 2014. Diagnóstico general de 35 sistemas de tratamiento de aguas residuales de ENACAL.
15. FAO. 2006: Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56. Roma. 323 p.
16. FAO. 2008: El Desarrollo del microriego en América Central; oportunidades, limitaciones y desafíos. Factores que se deben considerar para seleccionar el riego adecuado. Roma. 88 p.
17. FAO. 2015: Crop water information: Banana. Land and water division, water development and management unit. Roma. 5 p. (Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_banana.html. Consultado el: 11 de octubre de 2016).
18. FAO. 2015: Crop water information: sugarcane. Land and water division, water development and management unit. Roma. 6 p. (Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sugarcane.html. Consultado el: 11 de octubre de 2016).

19. Herrera, M.D., Hernández N. & Bravo J.R. (comps.). 2015: Guía de prácticas y tecnologías para la adaptación y la mitigación al cambio climático: Sector agropecuario. Proyecto cambio climático del Golfo de Fonseca (DCI-ENV/2010/256-823). Co-financiado por la Unión Europea. Universidad Centroamericana-Nicaragua (Instituto CIDEA e Instituto Nitlapan), Funsalprodese-El Salvador, ICADE y ADEPES- Honduras, OIKOS- Portugal y GVC-Italia. Managua.
20. INETER. 2007: Caracterización climática del departamento de Chinandega. Managua. 61 p.
21. INETER. 2007: Caracterización climática del departamento de León. Managua. 62 p.
22. INETER, 2015: El cambio climático: evidencias, desafíos y retos en este siglo. (presentación dictada por Dr. J. Milán).
23. INETER, 2016: Mapas de susceptibilidad de áreas susceptibles al incremento del nivel del mar de los municipios: El Realejo, El Viejo y León.
24. INETER y MARENA. 2017: Atlas de escenarios climáticos de Nicaragua hasta el año 2018.
25. INETER. 2017: Plataforma nacional de información y conocimientos sobre cambio climático <http://www.cambioclimatico.ineter.gob.ni>.
26. INIDE-MAGFOR. 2013: Departamento de Chinandega y sus municipios; Uso de la tierra y el agua en el sector agropecuario. s.e. Managua. 96 p.
27. INIDE-MAGFOR. 2013: Departamento de León y sus municipios; Uso de la tierra y el agua en el sector agropecuario. s.e. Managua. 96 p.
28. INIDE. 2011: Informe Final; IV Censo Nacional Agropecuario. s.e. Managua. 60 p.

29. IPCC (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Informe del Grupo de Trabajo II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC); editado por M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
30. Köppen, W. 1936: Clasificación climática de Köppen. (Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen)
31. Lillich, W., Kuckelkorn, K, u. Hoffmann, w. (1973): Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt im Lockergesteinsgebiet Fuhrberger Feld bei Hannover. (in HÖLTING, B. u. G. COLDEWEY (2013) - Hydrogeologie Beih. Geol. Jahrb., 107, 67 S; Hannover.
32. Lindo, P. & Vanderschaeghe, M. 2016: Perfil de género de Nicaragua en el marco del documento de estrategia nacional 2014-2020 de la Comisión Europea.
33. MAGFOR e INETER. 1999: Hidrología e Hidrogeología en la Zona Chinandega - León - Nagarote".
34. MARENA. 2008: Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y agricultura ante el cambio climático en la Cuenca 64.
35. MARENA. 2008: Estrategia de adaptación al cambio climático de los sistemas recursos hídricos y agricultura en la Cuenca 64.
36. MARENA. 2009: Informe técnico, proyecto "Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba".
37. MARENA. 2010: Caracterización de la Cuenca No. 64 Entre Volcán Cosigüina y río Tamarindo.

38. OIA. 2013: Cambio climático y cultivos azucareros. Organización Internacional del azúcar. Comité de Evaluación del Mercado, Cambio climático y cultivos azucareros. Consumo y estadística.
39. OMS. 2004: Guidelines for Drinking-Water Quality.
40. Cuenta Reto del Milenio. 2007: Plan de acción de cuencas de la región León-Chinandega.
41. MARENA; INETER; ENACAL; ANA; FISE & PROATAS GIZ. 2015: Asistencia técnica en la elaboración del diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca 64. primera fase: análisis y evaluación de las informaciones existentes e identificación de los datos y estudios más necesarios.
42. Rodríguez, C. 2015: Strategy for the implementation of Decentralised Wastewater Treatment Systems for industrial effluents in León (Nicaragua). Resource Efficiency in Architecture and Planning (REAP), Hafencity University Hamburg.
43. Strahler, A. N. 1952: «Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology», Geological Society of America Bulletin 63 (11): 1117-1142.
44. Strahler, A. N. 1957: «Quantitative analysis of watershed.
45. Thornthwaite C,W. 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geogr Rev 38:55-94.
46. United Nations. 2018: Portal UN-WATER <http://www.unwater.org/water-facts/climate-change/>
47. Wundt, W. 1953: Hydrogeologie: Introduction to the General and Applied, Berlin, Springer) 320 S, 183 Abb. Gewässerkunde (in Hölting, B. and Coldewey G. (2013)

