



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS DEL ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO DEL
AGUA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD EN DOS
CASOS DE ESTUDIO:**

OASIS DE ABU MINQAR, EGIPTO Y EL ALBERETO MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

COLUMBA MARTÍNEZ ESPINOSA



**DIRECTOR DE TESIS
DR. MARCELO ROJAS OROPEZA**

y) 7 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENPA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**Análisis del abastecimiento y saneamiento del agua como indicador de sustentabilidad en dos casos de estudio:
Oasis de Abu Minqar (Egipto) y El Alberto (México).**

realizado por MARTÍNEZ ESPINOSA COLUMBA con número de cuenta 3-0750798-7 quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en Biología. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Javier Carmona Jiménez

Propietario M. en C. María Julia Carabias Lillo

Propietario Tutor Dr. Marcelo Rojas Oropeza

Suplente Dr. Bernd Weber

Suplente M. en C. Manuel Hernández Quiroz

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., a 29 de octubre de 2014
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/MGM/mdm *Uca*

Agradecimientos

Al **Dr. Marcelo Rojas Oropeza**, por ser el valiente en aceptar ser mi tutor en esta tesis, por ser el primero en confiar en mí, por todo el apoyo, las buenas charlas, paciencia y enseñanzas tanto académicas como de vida.

A la **Dra. Nathalie Cabirol** por estar presente durante todo el proceso de construcción de esta tesis, por la confianza depositada, por su cariño, buen humor y fortaleza.

Al **DDC**, de la **Universidad Americana de Cairo**, por todas las facilidades otorgadas durante mi estancia, a todos los miembros del centro, por confiar en mi propuesta y haberme proporcionado los insumos y asesoría técnica en beneficio del proyecto y mi formación, por cooperar como traductores e intermediarios para la aceptación en la comunidad, de igual manera por haber hecho de mi estancia una gran experiencia académica y de vida.

A la comunidad y autoridades de **El Alberto, Ixmiquilpan** por su aceptación, cordialidad, disposición y calidez que hicieron sentirme como en casa, así como por permitirme realizar muestreos, entrevistas, especialmente a **Miguel, Federico, Sabino y Sebastián**.

Al **Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM**, por la asesoría técnica y por el acceso irrestricto en los laboratorios para el beneficio de esta investigación.

A mis profesores de la carrera y de manera especial a **Eduardo Bustamante, Natalia Mantilla, Zenón Cano, Ramiro Cruz, Anna Elisa Fano y Franz Gianfranco** por su compromiso con la docencia que además de haberme enseñado lo del programa, enriquecieron mi visión sobre la biología.

A mi hermana **Sara Inés Martínez**, a mi familia completa y a todos mis amigos: del Madrid, de la Facultad, del Café Son y de la vida, pero especialmente a **Luz Irene Arroyo, Fer Bribiesca, Fer Lombardini, Antonieta Espejel, Paola Denora, Ricardo Villagomez, Rodrigo Villalobos y Victor Barrera** por mencionar algunas de todas las personas que han estado presentes durante todo este proceso de formación donde hemos compartido un sinnúmero de experiencias de vida y que han hecho de este periodo un tiempo de vida inolvidable.

Y de manera extraordinaria a la **UNAM** por ser mi casa de estudios, por resistir muchos cambios y tener siempre una buena cara.

Sin embargo todo lo anterior no había pasado de ninguna manera sin el apoyo de mis padres **Abel Martínez y Columba Espinosa**, a quienes **DEDICO** el presente trabajo y **AGRADEZCO** infinitamente todo lo que he vivido, por ser quienes están siempre al pie del cañón, que animan todo tipo de ocurrencia y que me dan ese cariño y fuerza para seguir adelante, **¡Gracias!**

Índice

Agradecimientos.....	iii
Lista de Tablas	vi
Lista de Figuras	vii
Introducción	1
Marco teórico	2
I. EL AGUA Y LOS ECOSISTEMAS ÁRIDOS.....	2
II. EL RECURSO AGUA, UNA VISIÓN SOCIAL.....	5
III. EL DERECHO HUMANO DE ACCESO AL AGUA POTABLE Y EL SANEAMIENTO	12
IV. INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE	13
V. EGIPTO Y LA ESCASEZ DE AGUA.....	13
VI. MÉXICO Y LA DISTRIBUCIÓN DESIGUAL DEL AGUA	19
VII. LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y SU DEMANDA HÍDRICA	27
Justificación	30
Objetivo General	30
Objetivos específicos	30
Caracterización de los sitios de estudio	31
ABU MINQAR, DESIERTO DEL OESTE; EGIPTO	31
Abastecimiento.....	32
Usos	36
Saneamiento.....	38
EL ALBERTO, IXMIQUILPAN EDO. HIDALGO MÉXICO.....	40
Abastecimiento.....	41
Usos	45
Saneamiento.....	45
Materiales y método	47
Campo.....	47
Selección de sitios de muestreo	47
Toma de muestras y medición de parámetros <i>in situ</i>	47
Laboratorio	48
Análisis en laboratorio.....	48
Análisis estadísticos	49

Resultados y Discusión	50
ABU MINQAR, EGIPTO.....	50
Localización geográfica de los pozos y depósito superficial de agua residual.	50
Caracterización fisicoquímica y biológica del agua de abastecimiento	52
Caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual.....	54
EL ALBERTO, HIDALGO, MEXICO.....	57
Localización geográfica de los manantiales, puntos muestreados en el río Tula y efluentes de las fosas sépticas.	57
Caracterización fisicoquímica y biológica del agua de abastecimiento	58
Caracterización fisicoquímica y biológica del agua del Río Tula.....	64
Caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual doméstica.....	68
Discusión general, comparación de Abu Minqar y El Alberto	73
Conclusiones.....	84
Perspectivas y Recomendaciones.....	85
Bibliografía.....	86
Anexos	91
Encuesta	91
Colección botánica de El Alberto, Ixmiquilpan, Hgo., Mex.	92

Lista de Tablas

TABLA 1 TIPO DE ECOSISTEMA Y SU PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL. (MCGINNIES <i>ET AL.</i> , 1963).....	3
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, REFERENTES AL ACUÍFERO NUBIA, EN LA PARTE CORRESPONDIENTE A LA COMUNIDAD DE FARAFRA	35
TABLA 3 TIPO DE CULTIVOS QUE SE PRODUCEN EN ABU MINQAR, DEPENDIENDO LA TEMPORADA, IRRIGADAS CON EL AGUA PROVENIENTE DEL ACUÍFERO NUBIA.	38
TABLA 4 BENEFICIOS Y PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA INTERACCIÓN RÍO TULA- ALBERTO.	43
TABLA 5 PUNTOS DE MUESTREO EN CADA LOCALIDAD.	47
TABLA 6 PARÁMETROS EVALUADOS PARA LA MATRIZ AGUA TANTO EN LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO COMO EL SANEAMIENTO, TAMBIÉN SE EVALUÓ EL SUELO DONDE SE PLANEA HACER USO AGRÍCOLA, ABU MINQAR, EGIPTO.....	49
TABLA 7 PARÁMETROS EVALUADOS EN LOS MANANTIALES (ABASTECIMIENTO), RÍO (BIEN NACIONAL) Y DRENAJE (SANEAMIENTO), DEPENDIENDO EL TIPO DE USO.....	49
TABLA 8 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS PARÁMETROS CUANTIFICADOS EN EL POZO 15 DEL AGUA PROVENIENTE DEL ACUÍFERO NUBIA, EN ABU MINQAR, EGIPTO.....	53
TABLA 9 CATEGORÍA DE TOLERANCIA A LAS SALES DE LOS CULTIVOS PRINCIPALES DE ABU MINQAR.....	54
TABLA 10 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE AGUA RESIDUAL DE USO AGRÍCOLA EN 2 PUNTOS: CANAL DE DRENAJE Y EL DEPÓSITO, DONDE SE TOMARON DIFERENTES PROFUNDIDADES; EN ABU MINQAR, EGIPTO.	55
TABLA 11 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (CP) DEL AGUA DE ABU MINQAR; SE MUESTRAN LOS PARÁMETROS PRINCIPALES QUE VARÍAN MENOS, ANTES Y DESPUÉS DE SU USO.....	56
TABLA 12 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS MANANTIALES PRESENTES EN LA COMUNIDAD. NINGUNO SE UTILIZA OFICIALMENTE COMO FUENTE DE AGUA POTABLE, LOS DATOS SON LAS MEDIAS DE 3 RÉPLICAS DE CAMPO MÁS 3 RÉPLICAS DEL LABORATORIO.....	61
TABLA 13 RESULTADOS SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, AL CUAL SE SOMETIERON TODOS LOS PARÁMETROS CUANTIFICADOS PARA LOS SEIS MANANTIALES.	63
TABLA 14 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA, DEL MANANTIAL QUE SE OCUPA PARA EL ABASTO DE AGUA POTABLE, EN EL ALBERTO, ASÍ COMO LOS VALORES DE REFERENCIA QUE ESTABLECE LA NOM-127-SSA-1994.	64
TABLA 15 CRITERIOS DE OBSERVACIÓN DE LOS PUNTOS DEL RÍO TULA EN DONDE SE LLEVÓ A CABO EL MUESTREO.	64
TABLA 16 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO TULA (ENTRADA, PUNTOS INTERMEDIOS Y SALIDA) EN LA COMUNIDAD EL ALBERTO, MÉXICO.	65
TABLA 17. RESULTADOS SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS DEL PCA, PARA LOS PUNTOS MUESTREADOS EN EL RÍO.....	66
TABLA 18 PARÁMETROS EVALUADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA COMUNIDAD DE EL ALBERTO. TODOS LOS VALORES ANTES MENCIONADOS PARA CADA PARÁMETRO SON LA MEDIA DE LAS RÉPLICAS REALIZADAS TANTO EN CAMPO COMO EN EL LABORATORIO.....	70
TABLA 19 RESULTADOS SIGNIFICATIVOS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA RED DE DRENAJE, DE “EL ALBERTO”, MÉXICO.....	70
TABLA 20 TABLA COMPARATIVA FINAL DONDE SE PRESENTAN LOS INDICADORES DE SUTENTABILIDAD EVALUADOS EN AMBAS COMUNIDADES: ABU MINQAR, EGIPTO (ÁRIDO) Y EL ALBERTO, MÉXICO (SEMIÁRIDO).	74

Lista de Figuras

FIG. 1 DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA, REPRESENTADA CON RAZÓN AL AGUA PRESENTE EN LA BIOTA, REPRESENTADA CON LA CUADRÍCULA MÁS PEQUEÑA, CORRESPONDE A 1000 KM ² DE AGUA. EL CUBO ENTERO, CONTIENE 1 MILLÓN DE CUBOS PEQUEÑOS (USGS, 2012)	3
FIG. 2 MODELO DEL FLUJO DE ENERGÍA Y DE AGUA EN UN ECOSISTEMA ÁRIDO	4
FIG. 3 ÁREAS DE ESCASEZ FÍSICA Y ECONÓMICA (CA, 2007). EL CONTINENTE QUE PRESENTA MAYOR ESCASEZ TANTO FÍSICA COMO ECONÓMICA ES ÁFRICA, LOS PAÍSES LOCALIZADOS EN LA PARTE NORTE DEL GLOBO, NO PRESENTAN NINGÚN TIPO DE ESCASEZ, ESTO COINCIDE CON QUE ECONÓMICAMENTE SON LOS PAÍSES RICOS.....	7
FIG. 4 USO GLOBAL ANUAL DE AGUA, ESTIMACIÓN TOTAL Y POR SECTOR, 1900-2000, SE PUEDE OBSERVAR QUE LA AGRICULTURA ES AQUEL USO CON MAYOR DEMANDA, ES POSIBLE APRECIAR COMO POSTERIOR A 1960, SE INCREMENTA SIGNIFICATIVAMENTE EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA Y EN LA INDUSTRIA, EN LOS 40 AÑOS POSTERIORES DE 2,000 KM ³ ANUALES, AUMENTÓ LA EXPLOTACIÓN A APROXIMADAMENTE 5,000 KM ³ ANUALES O SEA EL MÁS DEL DOBLE DEL VOLUMEN 40 AÑOS ANTES (FAO, 2013)	8
FIG. 5 DISTRIBUCIÓN DE COBERTURA DE AGUA POTABLE A NIVEL MUNDIAL, ÁFRICA SUBSAHARIANA Y OCEANÍA TIENEN LA MENOR COBERTURA DE AGUA POTABLE, FAO, 2011	9
FIG. 6 TENDENCIAS DE LA COBERTURA DE AGUA POTABLE EN ÁREAS URBANAS Y RURALES, 1991-2011. EN ÁREA RURALES 1 732 MILLONES DE PERSONAS DEPENDEN DE FUENTES PÚBLICAS, BOMBAS MANUALES, POZOS PROTEGIDOS Y AGUA DE LLUVIA. TODAVÍA EXISTEN EN MEDIOS URBANOS, 117 MILLONES DE PERSONAS SIN INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE.....	10
FIG. 7 DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO, HAY 45 PAÍSES DONDE LA COBERTURA DE SANEAMIENTO ES MENOR AL 50%, FAO, 2011.	10
FIG. 8 TENDENCIAS DE SISTEMA DE DRENAJE Y DEFECACIÓN ABIERTA, EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE 1990-2011. DESDE 1990, 1.1 MILLONES DE PERSONAS EN ÁREAS URBANAS OBTUVIERON ACCESO A SISTEMAS DE SANEAMIENTO ADECUADO ADEMÁS QUE HUBO UN CRECIMIENTO POBLACIONAL DE 1 300 MILLONES DE PERSONAS (FAO, 2011).....	11
FIG. 9 DISTRIBUCIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EGIPTO, EL 86% DEL AGUA DISPONIBLE SE DESTINA PARA LA AGRICULTURA (FAO 2000) ..	15
FIG. 10 ORIGEN DEL AGUA PARA IRRIGACIÓN EN EGIPTO, EL AGUA SUPERFICIAL CUBRE EL 83% DE LA DEMANDA PARA LA AGRICULTURA (FAO, 2000).	15
FIG. 11 TÉCNICAS DE IRRIGACIÓN, UTILIZADAS EN EGIPTO, EL 88.5% SE IRRIGA POR INUNDACIÓN UNO DE LOS MÉTODOS MÁS DEMANDANTES DEL RECURSO HÍDRICO., FAO, 2010	17
FIG. 12 DIFERENTES CULTIVOS IRRIGADOS EN EGIPTO, LOS CULTIVOS FORRAJEROS SON LOS MÁS PRODUCIDOS Y EN SU MAYORÍA SON DE ALTA DEMANDA DE RECURSO HÍDRICO (FAO, 2002)	18
FIG. 13 DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA DE AGUA EN MÉXICO, EL SURESTE CON UNA DISPONIBILIDAD DE SIETE VECES MAYOR AL RESTO DEL PAÍS. (CONAGUA, 2012)	20
FIG. 14 BALANCE DE AGUA EN MÉXICO, AUNQUE EXISTE UNA PRECIPITACIÓN CONSIDERABLE LA TASA DE EVAPORACIÓN LA CONTRARRESTA, DEJANDO 460 KM ³ DE AGUA DISPONIBLE (SEMARNAT, 2012)	21
FIG. 15 DISTRIBUCIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LOS CUATRO PRINCIPALES SECTORES, REGADÍO Y GANADERÍA ACAPARAN EL 77% DEL AGUA EXTRAÍDA, A CONTINUACIÓN EL 14% ES DESTINADO A USO MUNICIPAL Y EL 9% RESTANTE SE EMPLEA EN LA INDUSTRIA, (5% PARA EL ENFRIAMIENTO DE PLANTAS TERMOELÉCTRICAS Y EL 4% PARA LA INDUSTRIA SIN TERMOELÉCTRICA) EN MÉXICO, FAO, 2011.....	22
FIG. 16 EL 60% DE AGUA UTILIZADA PARA REGADÍO PROVIENE DEL AGUA SUPERFICIAL, 34% ES DE ORIGEN SUBTERRÁNEO, Y DE AGUA TRATADA SOLO SE OBTIENE UN 6%, FAO 2009.....	23
FIG. 17 TÉCNICAS DE RIEGO EN SUPERFICIE CON INFRAESTRUCTURA DE RIEGO CON DOMINIO TOTAL COMO SE OBSERVA EN LA GRÁFICA EL 80% ES POR INUNDACIÓN DE LA SUPERFICIE QUE REFLEJA UNA PÉRDIDA IMPORTANTE DEL RECURSO HÍDRICO. FAO, 2009.	25
FIG. 18 CULTIVOS COSECHADOS EN SUPERFICIES CON INFRAESTRUCTURA DE RIEGO, LOS GRANOS SON AQUELLOS CON MAYOR NÚMERO DE HECTÁREAS PRODUCIDAS (3,208 MILES DE HA.) EN SEGUNDO LUGAR, PERO CON UNA SUPERFICIE QUE ES MENOS DE LA MITAD DE LA SUPERFICIE OCUPADA PARA LA PRODUCCIÓN DE GRANOS, SE ENCUENTRAN LOS CULTIVOS DE FORRAJE.....	26
FIG. 19 CAMBIO EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, DONDE SE HAGA UNA INTEGRACIÓN EN UN AGROECOSISTEMA, EXISTA UN CICLO ENTRE EL AGUA, LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA SEGURIDAD ALIMENTICIA	29
FIG. 20 LOCALIZACIÓN DE ABU MINQAR, LÍNEA ROJA INDICA LA DELIMITACIÓN DEL PROTECTORADO DEL NUEVO VALLE, DER. VISTA AÉREA DEL SITIO DE ESTUDIO.....	31

FIG. 21 AL CENTRO MAPA DE LAS 8 REGIONES HIDROLÓGICAS, EN ROJO, LOS ACUÍFEROS (NUBIA, MOGHRA Y COSTERO, QUE SE JUNTA CON EL AFLUENTE DEL NILO), ALREDEDOR FOTOS ILUSTRATIVAS DEL ABU MINQAR, CAMPOS DE CULTIVO, POZOS Y GANADO.	32
FIG. 22 MAPA DE LA SUPERFICIE TOTAL DEL ACUÍFERO DE ARENISCA DE NUBIA, SE SEÑALA SUS DOS CUENCAS PRINCIPALES (KUFRA Y DAKHLA), EN AZUL LAS ZONAS IRRIGADAS CON AGUA PROVENIENTE DEL ACUÍFERO, EN LA PARTE SUPERIOR DE LA IMAGEN SE SEÑALA LA INTERFAZ DEL AGUA DULCE CON EL AGUA SALADA; SEÑALADO CON UNA ESTRELLA ABU MINQAR. IMAGEN (THORWEIHE & HEINL, 2002).	33
FIG. 23 CUATRO COMUNIDADES DEL NUEVO VALLE, Y SU CORRESPONDIENTE NÚMERO DE POZOS, EN MORADO LOS POZOS ARTESANALES Y GRIS LOS POZOS DISEÑADOS, EL TERCER PAR, CORRESPONDE AL OASIS DE FARAFRA Y DE ABU MINQAR, CON 23 POZOS ARTESANALES Y 96 POZOS DISEÑADOS, DE LOS CUALES SOLO 15 PERTENECEN A ABU MINQAR.	34
FIG. 24 UNO DE LOS POZOS DE ABU MINQAR, QUE CUENTA CON UNA BOMBA PARA LA EXTRACCIÓN DEL AGUA, EL COLOR ROJO SE RELACIONA A UN ALTO CONTENIDO DE HIERRO; EL AGUA ES DESTINADA PARA LA AGRICULTURA.	35
FIG. 25 MAPA OBTENIDO A TRAVÉS DEL TRABAJO EN CAMPO, SIETE AGRICULTORES DE LA ZONA IRRIGADA BIR WAHID COMPLETARON MAPAS EN BLANCO CON UNA LEY DE LA CALIDAD DEL SUELO EN CADA PARCELA. SUS RESPUESTAS FUERON LUEGO CUANTIFICADAS Y SE REPRESENTAN AQUÍ EN UNA ESCALA DE GRADACIÓN. EL VERDE REPRESENTA LA MEJOR TIERRA EN LA OPINIÓN DE ESTOS AGRICULTORES, EL ROJO LO PEOR. REGIONES BLANCAS NO SE CALIFICARON POR TODOS LOS AGRICULTORES POR LO TANTO NO PUEDEN SER BIEN REPRESENTADOS.	37
FIG. 26 MAPA DE LA LOCALIDAD TOTAL SEÑALADO CON UNA ESTRELLA EL DEPÓSITO DE AGUA (IZQ.), DEPÓSITO DE AGUA RESIDUAL DE LOS CULTIVOS, SE ENCUENTRA MARCADO EN ROJO EL PERÍMETRO, OBTENIDO MEDIANTE MARCAJE DE PUNTOS GPS, (ABJ.) FOTOGRAFÍA DEL LAGO Y DEL CANAL QUE COMUNICA LOS CULTIVOS CON EL DEPÓSITO FINAL.	39
FIG. 27 LOCALIZACIÓN DE EL ALBERTO, AGRANDADO SE OBSERVA EL ESTADO DE HIDALGO, SE SEÑALA EL ALBERTO; (DER.) VISTA AEREA DEL SITIO DE ESTUDIO.	41
FIG. 28 CURSO DEL RÍO TULA CON AFLUENTES Y EFLUENTES (AL CENTRO) EL ALBERTO SEÑALADO CON UN TRIÁNGULO NARANJA (IMG.MODIFICADA DE LESSER-CARRILLO, <i>ET AL.</i> , 2011). ALREDEDOR FOTOS ILUSTRATIVAS DE EL ALBERTO, MANANTIALES, GANADO, GRAN CAÑÓN Y CANALES DE RIEGO.	43
FIG. 29 DIFERENTES USOS DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS DISPONIBLES EN LA COMUNIDAD, DE IZQUIERDA A DERECHA, ESTA UNA VISTA AÉREA DEL BALNEARIO A CONTINUACIÓN UN TANQUE DE MEZCLA PERTENECIENTE A LA PLANTA PURIFICADORA, EN LA PARTE INFERIOR LOS LAVADEROS COMUNALES Y UN TURISTA PRACTICANDO KAYAC.	45
FIG. 30 SE MUESTRAN LOS DOS TIPOS DE DESCARGA PRESENTES (ARRIBA Y ABAJO; IZQ.), Y DOS DETALLES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO QUE ESTÁ FUERA DE LAS CAPACIDADES DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO Y LAS RUPTURA DE LA ESTRUCTURA QUE IMPLICA CONTAMINACIÓN DIRECTA.	46
FIG. 31 FOTOGRAFÍA AÉREA DEL OASIS DE ABU MINQAR, SEÑALADOS LOS PUNTOS DE ABASTECIMIENTO, EL CANAL DE AGUA DE DRENAJE DE LAS PARCELAS PRINCIPALES Y EL DEPÓSITO FINAL DE AGUA RESIDUAL AGRÍCOLA.	51
FIG. 32 CICLO DEL AGUA, EN EL OASIS DE ABU MINQAR, LA MAYOR PARTE DEL RECURSO EXTRAÍDO SE EVAPORA. (EL ANCHO DE LAS FLECHAS SE RELACIONA CON SU IMPORTANCIA DE MANERA CUALITATIVA).	52
FIG. 33 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, PARA LOS CINCO PUNTOS CARACTERIZADOS EN ABU MINQAR, EGIPTO.	57
FIG. 34 FOTOGRAFÍA AÉREA DE EL ALBERTO DONDE SE SEÑALAN LOS PUNTOS DE MUESTREO (MANANTIALES, RÍO Y DRENAJE).	57
FIG. 35 CICLO DEL AGUA EN EL ALBERTO, MÉXICO, LA MAYOR PARTE DEL RECURSO EXTRAÍDO ESTÁ CONTAMINADO Y SE FILTRA SIN UN TRATAMIENTO. (EL ANCHO DE LAS FLECHAS SE RELACIONA CON SU IMPORTANCIA DE MANERA GENERAL).	58
FIG. 36 REPRESENTACIÓN DEL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DETERMINANDO LA RELACIÓN ENTRE CADA PARÁMETRO EVALUADO PARA LOS MANANTIALES DE LA COMUNIDAD EL ALBERTO, MÉXICO.	63
FIG. 37 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, PARA LOS CINCO PUNTOS CARACTERIZADOS EN LA FRACCIÓN DEL RÍO TULA QUE ATRAVIESA EL ALBERTO, MÉXICO.	67
FIG. 38. PUNTO DE MUESTREO INTERMEDIO, DONDE SE OBSERVA LA PRESENCIA DE ESPUMAS EN CUERPOS AMORFOS DE HASTA 30 CM DE ANCHO HASTA 3 M DE LARGO. ESTAS ESPUMAS SON INDICADORES DE LA PRESENCIA DE DETERGENTES, LOS CUALES CONTIENEN FÓSFORO.	68
FIG. 39. MAPA DE LA COMUNIDAD DONDE SE OBSERVA QUE SÓLO LAS MANZANAS DENOMINADAS “EL CENTRO” Y “EL CAMINO” CUENTAN CON RED DE DRENAJE, EL RESTO DE LA COMUNIDAD CUENTA CON FOSAS SÉPTICAS PARTICULARES O PRACTICA DE FECALISMO AL AIRE LIBRE (A). EN LAS IMÁGENES INFERIORES (B Y C) SE MUESTRA DETALLE DE LA RED DE DRENAJE IDENTIFICADA Y LAS CASAS QUE ESTÁN CONECTADAS A ESTA RED.	69
FIG. 40 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, PARA LOS CUATRO PUNTOS CARACTERIZADOS DEL DRENAJE, EN “EL ALBERTO”, MÉXICO.	71

FIG. 41 CICLO DEL AGUA ACTUAL, EN ABU MINQAR, EGIPTO.	78
FIG. 42 CICLO DEL AGUA EN EL OASIS DE ABU MINQAR, EGIPTO, CON LAS MODIFICACIONES PROPUESTAS COMO SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN, QUE PROMUEVE LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL RECURSO, BENEFICIOS AMBIENTALES Y PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.	79
FIG. 43 CICLO DEL AGUA ACTUAL, DE EL ALBERTO, MÉXICO.	81
FIG. 44 CICLO DEL AGUA DE EL ALBERTO, MÉXICO, CON LAS MODIFICACIONES PROPUESTAS COMO SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE CONTAMINACIÓN, QUE PROMUEVEN BENEFICIOS AMBIENTALES Y DISMINUYE EL RIESGO A LA SALUD DE LA GENTE QUE HACE USO DE ESTE RECURSO.	82

Introducción

En la actualidad nos encontramos en una crisis ambiental que involucra todo el planeta, hemos visto como en los últimos dos siglos, el crecimiento poblacional humano, la explotación de los recursos naturales, el incremento de la contaminación y degradación ambiental así como la diversidad en ella, han vulnerado los límites y la capacidad de los ecosistemas para regenerarse.

Los ciclos biogeoquímicos, son aquellos que conectan los factores abióticos y la vida, mediante procesos de producción y descomposición. El ciclo del agua, uno de los principales, a nivel ecosistémico es la base del funcionamiento del sistema, por lo tanto, su evaluación sirve como indicador de los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento y homeostasis. Sin embargo la disponibilidad define los requerimientos en cada tipo de ecosistema.

Los casos de estudio aquí tratados corresponden a un ecosistema árido y uno semiárido. En principio, ambos con estrés hídrico por extracción para el desarrollo social.

La sociedad para poder realizar todas sus actividades necesita de un abastecimiento de agua constante. Se ha determinado que es un derecho humano, el acceso a una cantidad suficiente de agua pura así como controlar lo que ocurre posterior a su uso, para garantizar una buena salud y calidad de vida (WHO/UNICEF, 2005).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF por sus siglas en inglés) monitorean la meta 10 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), la cual tiene como finalidad reducir a la mitad (en el 2015) el porcentaje de personas que carecen de acceso sustentable al agua potable y al saneamiento básico. La OMS y la UNICEF definen el abastecimiento como un sistema que permite llevar agua al consumidor en las mejores condiciones higiénicas. Y al saneamiento básico como la tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y residuos, para tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades de los usuarios. La correcta planeación de la instalación de la red de abastecimiento va de la mano con la red de saneamiento, la situación adecuada de ambas redes es un elemento muy importante para evitar que el agua apta para consumo se pueda contaminar en caso de grietas o roturas de la red de saneamiento.

Es una prioridad mundial reducir los riesgos a la salud asociados al agua y mejorar la calidad de vida de la población, ya que es una condición previa para obtener resultados satisfactorios en la lucha contra la pobreza y el hambre temas de preocupación actual.

En este documento se apuesta a reconocer la importancia de la simple disponibilidad del recurso agua y a proponer mejoras en la administración del recurso limitante, basadas en un modelo que contemple las características ecosistémicas locales y que promueva un desarrollo social sustentable.

Marco teórico

I. EL AGUA Y LOS ECOSISTEMAS ÁRIDOS

El agua de la Tierra está en (casi) todo el mundo: por encima de la Tierra, en el aire y las nubes, en la Tierra como ríos, océanos, hielo y biota; además en el interior de la Tierra en los primeros pocos kilómetros de la corteza. Sin embargo la vida terrestre no puede hacer uso del 97% del agua, por su condición salina, solo cuenta con el restante 2.5% que es agua dulce, aunque como se puede apreciar en la tabla 1 y la figura 1, de aquel 2.5% no toda está disponible.

68.7% del agua dulce se encuentra en las capas de hielo, glaciares y nieve permanente, el siguiente porcentaje corresponde al agua dulce subterránea equivale al 30.1% del total de agua dulce y con respecto a toda el agua del planeta equivale a un 0.76%, con lo que respecta al agua superficial, la suma de ríos (0.006%) y lagos de agua dulce (0.26%), suman 0.266%, que corresponde al agua superficial disponible, los porcentajes restantes corresponden al agua presente en el suelo (0.05%), atmósfera (0.04%) y biota (0.003%) (La Riviere, 1989)

El agua dulce que se encuentra en la biosfera es muy significativa para los ecosistemas ya que regula el crecimiento de las plantas así como la tasa de captación del nitrógeno (N) y la asimilación del carbono (C), el agua salada también juega un papel importante dentro de este proceso, es por eso que las características climáticas, reflejan la interacción entre el ciclo hidrológico y la productividad biológica (Iturbide and Porporato, 2004)

A continuación se muestra la distribución de agua salada y dulce que existe en el planeta, se puede observar que la mayor parte se encuentra en los océanos, mares y bahías (1, 338, 000, 000 km³), mientras que el agua presente en los seres vivos representa solo el 0.001% del agua, total.

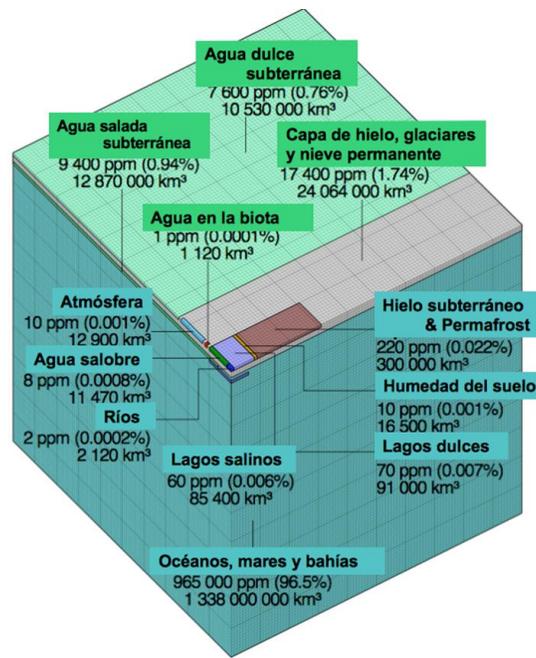


Fig. 1 Distribución global del agua, representada con razón al agua presente en la biota, representada con la cuadrícula más pequeña, corresponde a 1000 km² de agua. El cubo entero, contiene 1 millón de cubos pequeños (USGS, 2012)

El agua presente en los suelos (0.05% del agua dulce), es crucial en los ecosistemas áridos y semiáridos, puesto que el control del carbono del suelo y de los ciclos de nutrientes se realiza a través de un ciclo húmedo-seco. La respuesta microbiana del suelo a la humedad a menudo resulta en mineralización de C y N, seguida por cambios en la disponibilidad C/N disponible en el sustrato y un desplazamiento en el equilibrio entre la inmovilización de nutrientes y la mineralización. Los aportes de nitrógeno de las costras biológicas del suelo también son muy sensibles a los eventos de lluvia en pulsos, las pérdidas de nitrógeno es comúnmente en forma de gas debido a la desnitrificación y la lixiviación de nitrato (Robertson *et al.*, 1988)

La magnitud del efecto de los pulsos de agua depende de la distribución, de la disponibilidad de los recursos de suelo y organismos presentes, todos los cuales están fuertemente afectados por la disposición geográfica, topográfica, el tipo del suelo, heterogeneidad espacial y temporal de la cubierta vegetal. (Austin *et al.*, 2004) La clasificación de los ecosistemas áridos generalmente usada se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Tipo de ecosistema y su precipitación media anual. (McGinnies *et al.*, 1963)

Nombre del ecosistema	Precipitación media anual (mm)
Extremadamente árido	< 60- 100 mm
Árido	De 60 – 100 mm
Semiárido	De 150 – 250 mm hasta 250-500 mm

Noy-Mer menciona que los ecosistemas áridos tienen tres atributos y los define como “Ecosistemas controlados por el agua”, los cuales son:

- La precipitación es tan baja que el agua es el factor limitante en los procesos biológicos;
- La precipitación es altamente variable a lo largo del año, ocurre de manera esporádica y en eventos discretos;
- La variación de la precipitación tiene un gran rango aleatorio, por lo que se convierte en impredecible (Noy-Mer, 2012).

Estos atributos dependientes del agua se observan en las estrategias de las plantas en ecosistemas áridos, donde los flujos de energía, carbón y agua, tienen un patrón de movimiento esencialmente simultáneo (figura 2): dinámica del agua en el sistema a través de los mismos compartimentos y caminos que la energía y el carbono, estado hídrico de la planta que regulado por el mecanismo de control en los estomas, influye en las tasas tanto de fotosíntesis (la energía y el flujo de dióxido de carbono, CO₂) y la transpiración (salida de agua).

Los cambios del contenido de agua en la planta son por lo general pequeños en comparación con el flujo de la transpiración de modo que este último es casi igual a la absorción de agua del suelo. Por lo tanto, la fotosíntesis y la transpiración, dependen del agua disponible por medio de la humedad y contenido de materia orgánica en el suelo, que se empata con otros factores influyen sobre los estomas (luz, temperatura y humedad del aire) así como de la densidad de biomasa vegetal.

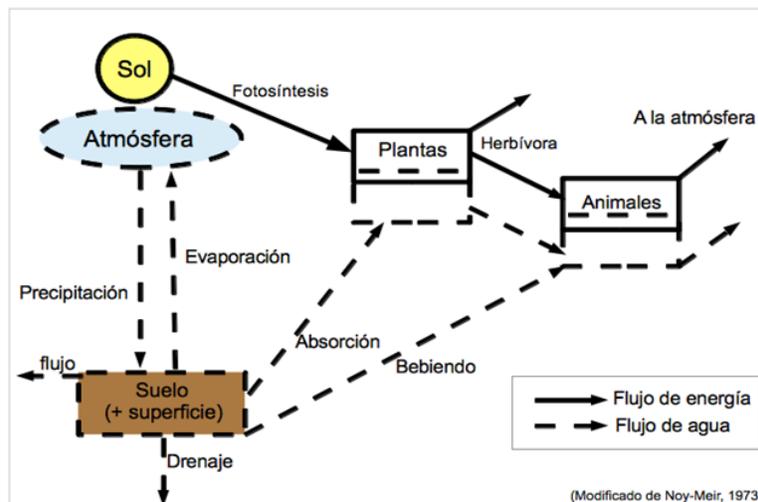


Fig. 2 Modelo del flujo de energía y de agua en un ecosistema árido

La naturaleza controlada por el agua en los ecosistemas áridos se debe esencialmente a que los servicios que brinda el suelo; en primer lugar, actúa como un reservorio temporal de la precipitación y permite que sea aprovechada por los organismos; segundo lugar, es el regulador entre la entrada y la salida: flujo superficial, drenaje, evaporación y la evapotranspiración (actividad biológica), en resumen la ruta del agua a través del suelo-planta-atmósfera (Schwinning and Ehlerimger, 2001).

Los ecosistemas son entonces el resultado del proceso de modificación de los parámetros ambientales por parte de la comunidad biológica, esto se limita y tiene una tasa de cambio determinada por la disponibilidad y características de los factores ambientales, culmina cuando se alcanza un máximo de biomasa y una relación simbiótica entre organismos y energía fluyente disponible, también conocida como homeóstasis ambiental (Odum, 2007), es ese equilibrio el que a menudo, es transgredido por la humanidad.

Actualmente, el cambio climático global, tiene efecto en los pulsos de agua que reciben estos ecosistemas, ya que altera los regímenes hidrológicos y térmicos que impacta directamente los ciclos biogeoquímicos de dichos ecosistemas (Bates *et al.*, 2008)

Se estima que la degradación futura podría ser sustancial y rápida, y se concentrarán en aquellas zonas del mundo donde los recursos asignados para la conservación son los más limitados y el conocimiento de los sistemas loticos incompleta; los daños se centrarán en ríos de tierras bajas, que son también insuficientemente estudiados (Carpenter *et al.*, 1992).

II. EL RECURSO AGUA, UNA VISIÓN SOCIAL

Para las sociedades, los recursos hídricos continentales (superficiales y subterráneos) finitos son vitales y han sido foco de asentamientos humanos desde épocas remotas. Con el crecimiento demográfico, los recursos hídricos han sido fuertemente explotados para el suministro doméstico, riego, generación de electricidad y son depósito de todo tipo de residuos. Los sistemas loticos son tal vez los ecosistemas más afectados en el planeta; el agua ha sufrido alteraciones químicas, muchas veces por adición directa, eliminación o introducción de especies y finalmente destrucción del hábitat físico, derivado de influencias inmediatas de la urbanización, industria y cambio del uso de suelo ya que tienen un contacto íntimo con sus cuencas (Hynes, 1975).

Un ejemplo del mal manejo de los cuerpos de agua son los ríos, lo cuales son sistemas de gran relevancia biológica ya que contienen una rica y variada biota. Debido a la falta de un conocimiento básico taxonómico, muchos taxones en las regiones tropicales, como invertebrados, plantas y algas, continúan sin ser identificados y sólo existen datos rudimentarios que son utilizados para hacer proyecciones sobre el papel funcional de la biodiversidad en las aguas corrientes (Jonsson and Malmqvist, 2003)

Este tipo de administración de los recursos, están comprometiendo la capacidad de la Tierra para soportar a la población humana ya que las decisiones humanas referentes a la economía, ambiente, cultura (incluyendo valores y políticas) y demografía, afectan la dinámica ecológica (Brown and Kane, 1995).

Históricamente la humanidad se ha extendido por todo el mundo sin discrepar en ningún ecosistema, ha hecho infraestructura para ganarle terreno al mar y conforme se ha tecnificado ha modificado su entorno sin respetar ni observar las condiciones naturales. Esta soberbia la podemos ver reflejada en todo fenómeno natural que se convierte en una catástrofe por los daños causados a la población que se

encuentra habitando aquel territorio. El agua, vital para todo proceso biológico, tiene una distribución y disponibilidad heterogénea. Como ejemplo se puede mencionar que en 1992, se calculó que el 15% de la población, la cual pertenece a los países ricos, disfruta del 79% de los recursos hídricos globales (Cohen, 1995). En la reciente reunión del Foro Económico Mundial se reveló que en 2016 el 1% de la población mundial poseerá más del 50% de la riqueza mundial y control de los recursos (Foro Económico Mundial, 2015)

Aunque exista agua suficiente para la población mundial actual de aproximadamente 7 mil millones de personas, alrededor de 1,2 millones de personas, equivalente a casi una quinta parte de la población mundial, viven en zonas de escasez, y otros 500 millones están próximos a esta situación; pero existen otros 1,6 millones de personas, casi una cuarta parte de la población mundial se enfrentan a la escasez económica de agua lo que significa que los países carecen de la infraestructura necesaria para llevar agua de los ríos y acuíferos a la población (Weinzierl and Schilling, 2013).

Los recursos globales de agua sobre los continentes se estiman en cerca de 40,000 km³/año. De este volumen, solo una pequeña parte, 9,000 km³/año se considera que está disponible para su uso y el resto se pierde en inundaciones. Sin embargo, tal conclusión no toma en consideración las grandes variaciones regionales de los recursos hídricos y de su uso, los cuales ya han llevado a su escasez en varias partes del mundo, mientras que otras regiones reciben mucha más de la que podrían usar. En la figura 3 se muestra el mapa mundial, donde se encuentran identificadas las áreas de escasez física y económica. En este mapa el continente africano es aquel que presenta escasez completamente, por ejemplo, África central que representa el 18% del área del continente recibe el 49% del agua, pero presenta escasez de agua económica, lo que sería que no se cuenta con la infraestructura necesaria para la extracción del recurso; África del Norte, con un área similar, recibe solo el 1,2% del agua, y presenta escasez de agua física, que significa que el aprovechamientos de los recursos hídricos ha superado los límites sostenibles del ecosistema (FAO, 2013)

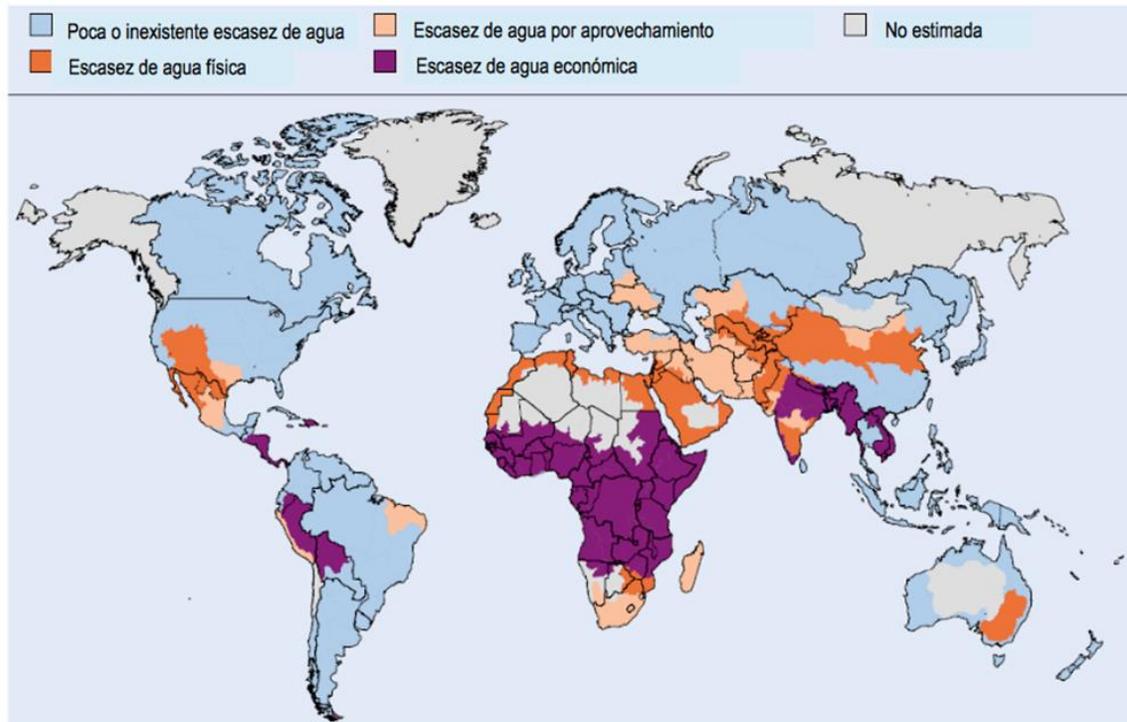


Fig. 3 Áreas de escasez física y económica (CA, 2007). El continente que presenta mayor escasez tanto física como económica es África, los países localizados en la parte norte del globo, no presentan ningún tipo de escasez, esto coincide con que económicamente son los países ricos.

*Poca o inexistente escasez de agua significa que la disponibilidad de agua es mayor al uso, con menos del 25% del flujo de agua de ríos para propósitos humanos. Escasez física significa que el aprovechamiento de los recursos hídricos ha superado los límites sostenibles: más del 75% del flujo de agua de ríos. Escasez de agua por aprovechamiento significa que más del 60% del flujo de los ríos y sus cuencas, experimentarán escasez física en un futuro cercano. Escasez de agua económica significa que los recursos son relativamente abundantes con respecto al uso, con menos del 25% del flujo de los ríos, pero por falta de capital humano, institucional y financiero, el acceso es limitado y existe malnutrición.

La agricultura es el mayor usuario de agua con un promedio mundial de 69%, seguida por la industria con 23% y el uso doméstico ciudadano con 8%. Pero la agricultura también es el sector que presenta el más bajo retorno de la inversión y el más alto nivel de malgasto y, en condiciones competitivas, disminuye su participación a nivel de las satisfacciones de la industria y de las ciudades. A continuación se muestra en la figura 4, la evolución del uso del agua durante el siglo XX con estimaciones hasta el año 2000 y el dramático incremento que ha acompañado el crecimiento de la población y el desarrollo durante la segunda parte de ese siglo (FAO, 2013).

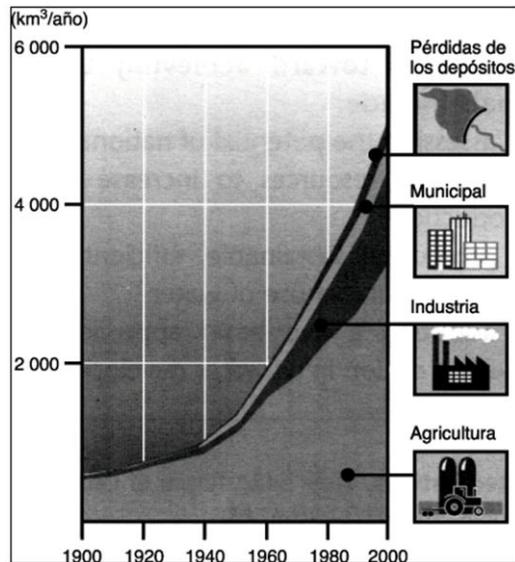


Fig. 4 Uso global anual de agua, estimación total y por sector, 1900-2000, se puede observar que la agricultura es aquel uso con mayor demanda, es posible apreciar como posterior a 1960, se incrementa significativamente el uso del agua en la agricultura y en la industria, en los 40 años posteriores de 2,000 km³ anuales, aumentó la explotación a aproximadamente 5,000 km³ anuales o sea el más del doble del volumen 40 años antes (FAO, 2013).

Abastecimiento de agua potable. En la siguiente figura (fig. 5) se muestra la distribución mundial, solo del agua potable, que si se compara con la figura 3, aquellos países que presentan escasez económica, son también aquellos que tiene un porcentaje de cobertura menor al 90%, en África central del 75% a menos del 50% de la población tiene cobertura de agua potable; esto indica que hay regiones que por sus condiciones ambientales (factores abióticos) y donde existen ecosistemas de baja demanda de agua como son los áridos y semiáridos no haya excedente disponible para el mantenimiento de una comunidad humana, ya que no existe agua disponible que permita cubrir la porción vital diaria que un ser humano necesita para vivir y por lo tanto es imposible concebir un desarrollo sustentable que permita el acceso a fuentes de agua potable; sin embargo existen comunidades humanas asentadas en estas regiones, las cuales tienen que ser atendidas.

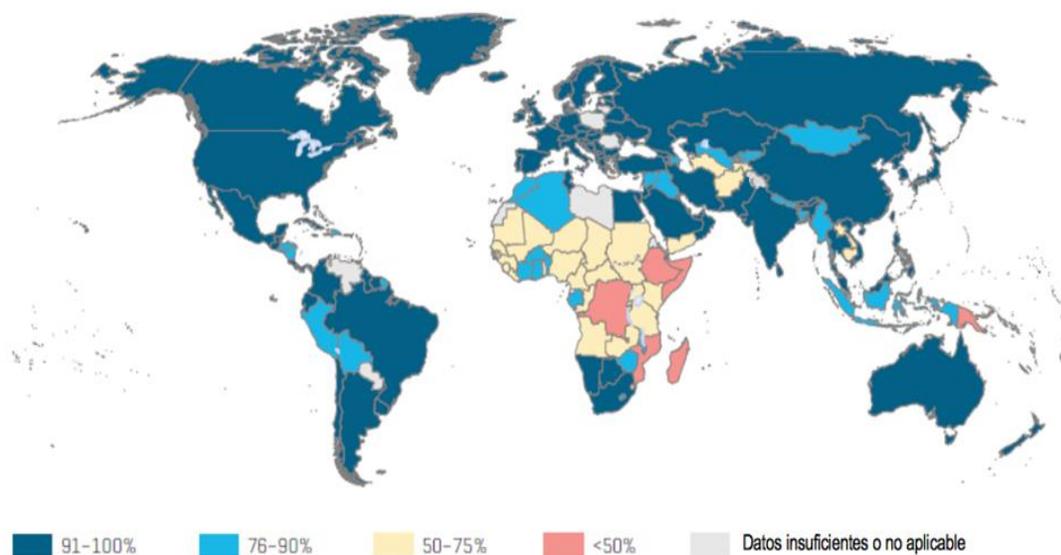


Fig. 5 Distribución de cobertura de agua potable a nivel mundial, África subsahariana y Oceanía tienen la menor cobertura de agua potable, FAO, 2011

La distribución de cobertura de agua potable a nivel mundial es necesario desglosarla, ya que no es lo mismo el acceso que tiene en un medio urbano que en un medio rural, en la figura 6, se muestra cuantos millones de personas a nivel mundial cuenta con una instalación adecuada, cuantos dependen de otro tipo de instalación y cuantos no tienen ninguna obra de toma que facilite la toma del recurso y garantice la no exposición a fuentes de contaminación. En la década que se reporta en la figura (1990-2011), se puede ver en primer lugar como el abastecimiento adecuado en el medio urbano se ha incrementado, este crecimiento se da a la par del incremento poblacional en centros urbanos mientras que el número de habitantes en el medio rural, se ha mantenido constante durante esa década (3,000 millones de personas, aproximadamente). Para 2011 en el medio urbano el 80% de las personas cuentan con una instalación entubada de abastecimiento de agua, que corresponde a 2 888 millones de personas, el 16% dependen de otro tipo de instalación como fuentes públicas, bombas manuales o pozos protegidos, pero existe un 3% de la población urbana que no cuenta con algún tipo de instalación y el restante 1% depende exclusivamente del agua de lluvia.

En cuanto al medio rural en 1990, el número de personas que se proveen de agua potable por medio de una instalación, sea del tipo entubada o fuentes públicas, corresponde al 62% de la población rural. Para 2011 el 80% de la población rural se abastece de agua potable proveniente de alguna obra de toma, lo cual permite garantizar la calidad del líquido. Así que tanto en el medio rural como en el medio urbano, el 80% de la población, cuenta con agua potable proveniente de algún tipo de instalación que garantice la calidad del agua; el 20% restante de la población actual que todavía no cuenta con instalación alguna y que hace uso del agua superficial, ha ido descendiendo, *que sirve como indicador de calidad de vida*, ya que se está disminuyendo el riesgo de tomar agua que se encuentre contaminada.

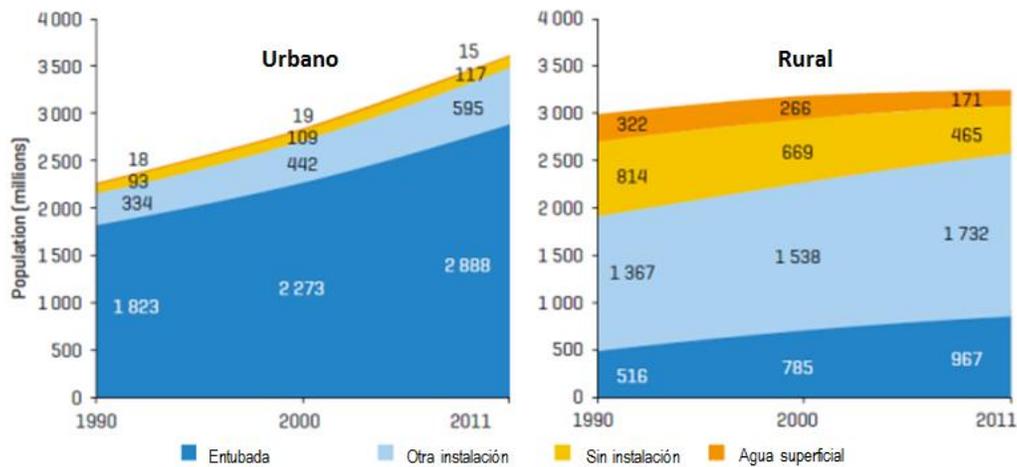


Fig. 6 Tendencias de la cobertura de agua potable en áreas urbanas y rurales, 1991-2011. En áreas rurales 1 732 millones de personas dependen de fuentes públicas, bombas manuales, pozos protegidos y agua de lluvia. Todavía existen en medios urbanos, 117 millones de personas sin instalación de agua potable.

Saneamiento del agua, la salud pública y ambiental. Además de la problemática existente en el abastecimiento, otro factor importante a considerar es lo que ocurre posterior al uso del recurso hídrico, como se puede observar en la figura 7, una gran proporción de la población mundial no cuenta con un sistema de saneamiento. África y Asia son los continentes con menor proporción de sistema de saneamiento, en general la proporción de países que cuentan con sistema de saneamiento del 91-100 % es menor a los países que tienen 91-100% de cobertura de abastecimiento. Lo que implica la posible contaminación al subsuelo y a las fuentes de abastecimiento, que pueden provocar problemas de salud, por la exposición y volatilidad, por ejemplo, de heces fecales.

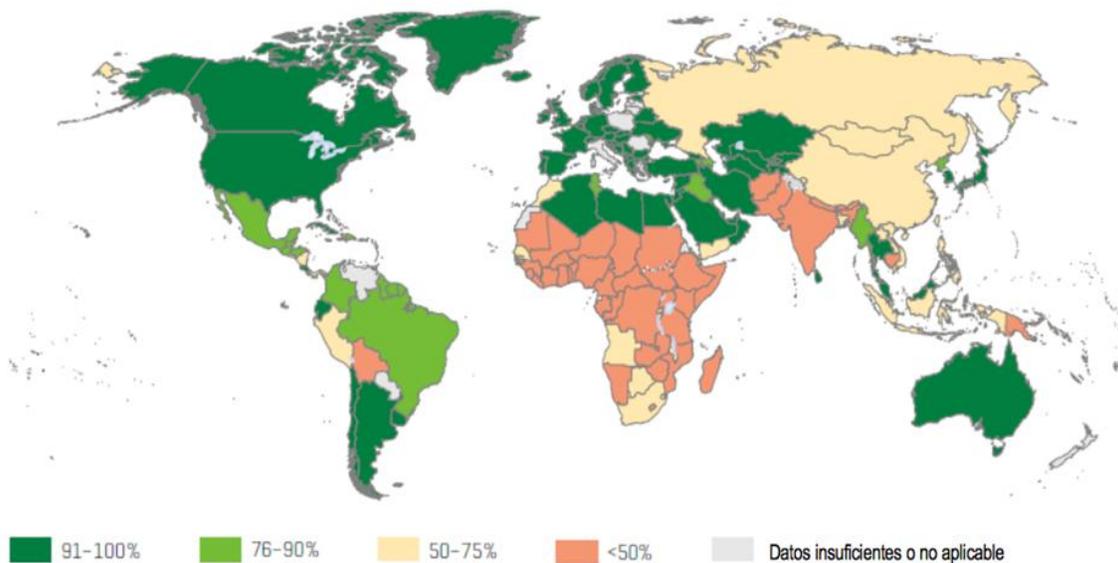


Fig. 7 Distribución global del sistema de saneamiento, hay 45 países donde la cobertura de saneamiento es menor al 50%, FAO, 2011.

Las tendencias mostradas en la figura 8, indican el número de personas que cuentan con sistema de saneamiento adecuado, tanto en el medio urbano como rural ha aumentado. Todavía existe la defecación

abierta en ambos medios y es posible observar que en el caso del medio urbano corresponde a un 3% de la población total del medio urbano. Sin embargo en el caso rural el 28% de la población continúa defecando al aire libre y el 16% tienen un sistema inadecuado, sumados resultan en el 44% de la población rural equivalente a 1,477 millones de personas: Es importante notar que en 1990, 38% de la población que defecaba a abierto superaba el 28% de la población que contaba con un sistema de saneamiento adecuado. Actualmente el 47% de la población ya cuenta con un sistema adecuado de saneamiento, se aumentó un 9% de la población (FAO-Aquastat, 2012)

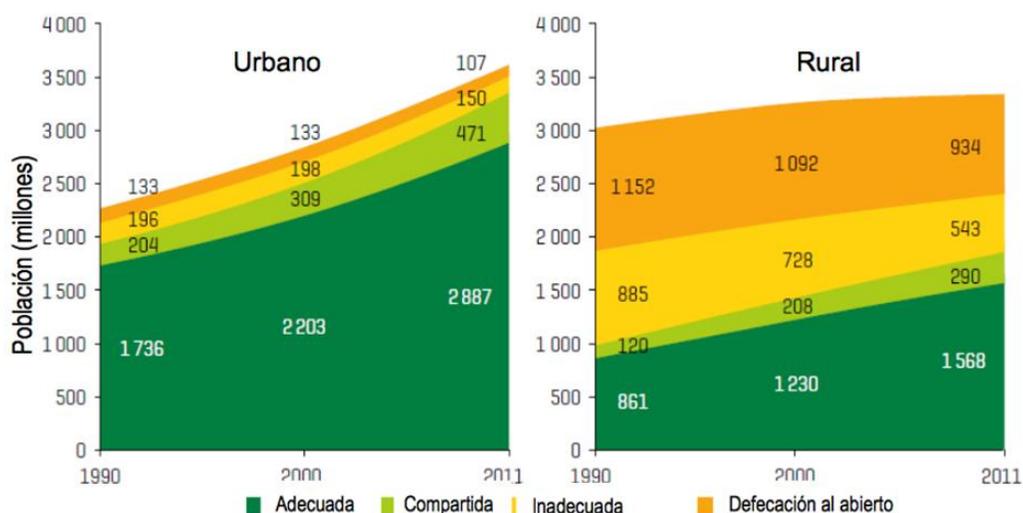


Fig. 8 Tendencias de sistema de drenaje y defecación abierta, en zonas urbanas y rurales de 1990-2011. Desde 1990, 1.1 millones de personas en áreas urbanas obtuvieron acceso a sistemas de saneamiento adecuado además que hubo un crecimiento poblacional de 1 300 millones de personas (FAO, 2011).

El saneamiento implica una mayor tecnificación e inversión, por lo que los números de países con una cobertura completa es menor a aquellos que tienen una cobertura completa de agua potable. Existe una constante en que los países que presentan escasez económica de agua, menos del 50% de la población cuenta con agua potable y sistema de saneamiento, la higiene tiene consecuencias importantes sobre la salud.

Aproximadamente 1,100 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a fuentes de agua mejorada. Asimismo, 2,400 millones no tienen acceso a ningún tipo de instalación de saneamiento. Cerca de 2 millones de personas, la mayoría de ellos niños menores de cinco años, mueren todos los años debido a enfermedades diarreicas. Los más afectados son las poblaciones de los países en desarrollo que viven en condiciones extremas de pobreza, tanto en áreas periurbanas como rurales. Los principales problemas que causan esta situación incluyen la falta de prioridad que se le da al sector, la escasez de recursos económicos, la carencia de sostenibilidad de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento, los malos hábitos de higiene y el saneamiento inadecuado de entidades públicas como hospitales, centros de salud y escuelas. Para reducir la carga de enfermedad causada por estos factores de riesgo es sumamente

importante proveer acceso a cantidades suficientes de agua segura e instalaciones para la disposición sanitaria de excretas y promover prácticas seguras de higiene. Y esto aún sin considerar la presencia de otro tipo de contaminantes que deben ser tomados en cuenta por ser fuente importante de problemas a la salud pública y daño ecológico, entre ellos los relacionados al exceso de nutrientes como los provenientes de la actividad agrícola y pecuaria, los contaminantes de la actividad industrial, como los relacionados a la actividad minera que usan gran cantidad de agua. Y también los llamados contaminantes emergentes, como los relacionados a la industria de la farmacéutica, la alimentación y de electrónicos, que tienen que ver con el uso generalizado de antibióticos y medicamentos en seres humanos y animales de producción masiva para consumo humano, irónicamente para mantener la salud pública y el confort de la vida moderna (Carey and Migliaccio, 2009) (Le-Minh *et al.*, 2010) (Robinson, 2009) (Singh *et al.*, 2013)

III. EL DERECHO HUMANO DE ACCESO AL AGUA POTABLE Y EL SANEAMIENTO

Que el agua y el desarrollo humano están implicados es algo obvio. El primer indicio internacional se dio en enero de 1992 cuando se realizó la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en Dublín cuyas conclusiones fueron:

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

Por otro lado la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 80% de todas las enfermedades infecciosas en el mundo está asociado a agua en malas condiciones. Para el control de las enfermedades es necesario disponer de una cantidad suficiente de agua potable.

Posterior a Dublín, organismos internacionales como la ONU, UNICEF, OMS y UNESCO, han generado acuerdos y lineamientos que permitan garantizar el derecho humano del acceso universal al agua potable y su adecuado saneamiento. Específicamente en la Asamblea General de las Naciones Unidas del 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, se reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. Para estimar las condiciones de acceso al vital recurso hidráulico en cantidad y calidad, tanto en medios urbanos como rurales, a grupos vulnerables y de alta marginación, se generaron indicadores como motor principal para planear acciones y poder evaluar programas de desarrollo en infraestructura de abastecimiento y saneamiento de agua en cada nación del mundo (Observación General No.15, 2002) (UNECE/WHO, 2013).

Estos trabajos continuos por más de tres décadas han influenciado en lograr el desarrollo de políticas para gestión y regulación del agua, incluso de proyectos de colaboración regionales, alianzas y estrategias de

manejo y conservación del agua en zonas con posibilidades de conflicto por el recurso hídrico. Se ha avanzado mucho en una nueva cultura del agua, en donde se comprende, que el acceso al agua limpia y suficiente, así como su correcto saneamiento es la mejor política de prevención ante la carencia de agua y su calidad. Se comprueba que mejora la salud humana, incrementa la calidad de vida, incentiva el desarrollo social y económico, fortalece a las naciones y mejora nuestra relación con nuestro entorno ecológico el generar la disminución de impactos negativos (ONU/DAES, 1997) (OMS/UNICEF, 2000).

IV. INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Para ilustrar la presencia de los componentes de la sustentabilidad en un marco conceptual, los tres ámbitos fundamentales involucrados en tal concepto fueron plasmados en un esquema sinóptico: el bienestar humano, el bienestar ecológico y las interacciones. Se trata de un enfoque integrado del desempeño económico y ambiental, que conforma un área de factibilidad, donde el crecimiento económico debería ser suficiente para resolver el problema de la pobreza y paralelamente sustentable para evitar una crisis ambiental, considerando además tanto la equidad entre las generaciones presentes como la equidad intergeneracional que involucra los derechos de las generaciones futuras (Organización de las Naciones Unidas, 1992)

En abril de 1995, la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de Naciones Unidas aprobó el Programa de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable 1995-2000. El objetivo de los indicadores es proveer una base empírica y numérica para conocer los problemas, calcular el impacto de nuestras actividades en el medio ambiente y para evaluar el desempeño de las políticas públicas. Los indicadores hacen más sencilla la comunicación, al simplificar fenómenos complejos y traducirlos en términos numéricos. Las mediciones ayudan a los tomadores de decisiones y a la sociedad a definir objetivos y metas. Cuando se les observa a lo largo del tiempo, deben ser capaces de comunicar información específica sobre el progreso e indirectamente evidenciar la eficiencia de los programas y políticas diseñadas para promover la sustentabilidad. El propósito de un indicador es que sea una síntesis de todas las dimensiones, o que al menos integre más de una (Rodríguez Solórzano, 2002)

La heterogeneidad de los procesos ambientales, su relación con la actividad económica y la disponibilidad de series estadísticas ambientales hace necesario que los equipos que se dispongan a producir o expandir conjuntos de indicadores ambientales o de desarrollo sostenible, aprovechen el conocimiento y experiencia acumulada en la región, y puedan ir adaptando cada uno de los pasos a sus propias posibilidades y capacidades (Quiroga Martínez, 2009)

V. EGIPTO Y LA ESCASEZ DE AGUA

África, es una de las regiones más afectadas por la escasez de agua en el planeta; a principios del siglo XXI, 13 de los 53 países africanos sufrieron estrés hídrico, y se estima que la sobre explotación de acuíferos puede propiciar que para 2025 más de la mitad de las naciones de ese continente enfrente este problema, actualmente con los altos índices de pobreza y marginación, un importante sector de la población africana

está expuesto a un deficiente abastecimiento de agua potable y saneamiento, esta situación se agudiza en las zonas rurales donde 53% de los habitantes no cuentan con estos servicios (UNESCO, 2013).

Por localizarse en el centro de Medio Oriente, Egipto juega un papel importante en el desarrollo de esta región; especialmente desde que Medio Oriente se ha vuelto inestable políticamente, ha sido un país que ha luchado en dos ocasiones contra Israel así como con otros países de la región. También es notoriamente conocido por su inestabilidad política, su escasez de agua, la falta de desarrollo y la poca producción de alimentos, que en conjunto son problemas que influyen toda el área.

Egipto cubre una de las regiones más áridas del planeta, situado entre el desierto del Sahara y el desierto Árabe con una precipitación anual que va desde 200 mm en la costa mediterránea descendiendo hasta 0 mm al sur de Cairo, lo que lo hace extremadamente dependiente del río Nilo. El 97% de la población habita en el 4% del territorio egipcio, que corresponde a los márgenes del río, existe un alto nivel de pobreza relacionada con la falta de industrialización y abandono del campo.

El territorio egipcio comprende las siguientes cuencas:

- La Cuenca del Interior Norte, que abarca 520,881 km² o 52% de la superficie total del país en el este y sureste del país. Una sub-cuenca de la Cuenca Interior del Norte es la depresión de Qattara.
- La Cuenca del Nilo, que abarca 326,751 km² (33%) en la parte central del país en la forma de una amplia franja de norte a sur.
- La Cuenca costa mediterránea, que cubre 65,568 km² (6%).
- La Cuenca Costa Noreste, una estrecha franja de 88,250 km² a lo largo de la costa del Mar Rojo (8%).

El río Nilo es la principal fuente de agua para Egipto, con un flujo anual asignado de 55.5 km³/año. La principal fuente de recarga interna del país es la percolación del agua de riego en el valle y el delta.

El acuífero de arenisca de Nubia ubicado debajo del desierto occidental se considera una fuente importante de agua subterránea, pero este es agua subterránea fósil y no se conoce ningún punto de recarga.

El abastecimiento total de agua en el año 2000 se estimó en 68.3 km³. Esto incluyó 59 km³ para la agricultura (86%), 5.3 km³ de municipios (8%) y 4 km³ para la industria (6%). A continuación en la figura 9, se muestra los porcentajes que se designan para cada uso; la agricultura es aquel con mayor porcentaje. Parte de eso, 4 km³ se utilizaron para la navegación y la energía hidroeléctrica (Attia, 2009)

Abastecimiento de agua
Total: 68 300 km³ in 2000

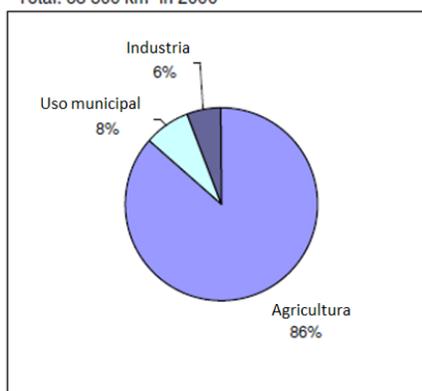


Fig. 9 Distribución del abastecimiento de agua en Egipto, el 86% del agua disponible se destina para la agricultura (FAO 2000).

Extracción de agua subterránea en el 2000 reportada por la FAO, fue 7.043 km³ que se obtuvo a partir de las siguientes cuencas:

- 6.127 km³ de la Cuenca del Nilo (aguas de infiltración),
- 0.825 km³ de los desiertos del este y el oeste, es decir, principalmente el acuífero de arenisca de Nubia,

0.091 km³ de pozos poco profundos en el Sinaí y en la costa noroeste. El agua superficial fue la fuente del 83% de la superficie designada para agricultura en 2000, mientras que el 11% (361,176 ha) de la superficie se riega con las aguas subterráneas en las provincias de Matruh, Sinaí y Valle Nuevo. El 6% restante (217,527 ha) se regó con fuentes mixtas, ver siguiente figura (FAO, 2013).

La reutilización de agua de drenaje agrícola, que es regresada a los ríos, que se refleja fue de 4.84 km³/año en 2001/02. De los 2.97 km³/año de agua residuales tratada, 1.5 km³/año se reutiliza para el riego, mientras que el resto se bombea en los sumideros donde se mezcla con el agua de drenaje y se utiliza luego para el riego.

Origen del agua para irrigación
Total: 3 422 178 ha in 2000

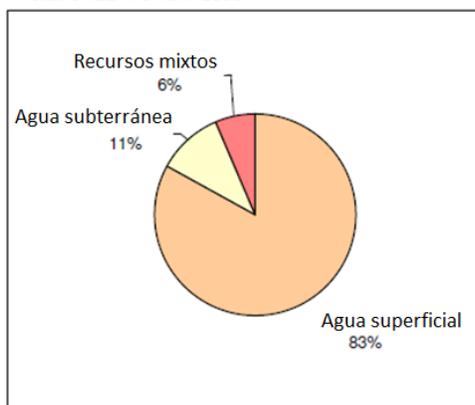


Fig. 10 Origen del agua para irrigación en Egipto, el agua superficial cubre el 83% de la demanda para la agricultura (FAO, 2000).

Política y gestión legislativa del agua, en la agricultura.

El Ministerio de Recursos Hídricos y Riego (MWRI, por sus siglas en inglés) está a cargo de la investigación, desarrollo y la distribución de los recursos hídricos, y se encarga de la construcción, operación y mantenimiento de las redes de riego y drenaje. Las especificaciones y los permisos para la perforación de pozos de agua subterránea son también responsabilidad de MWRI.

Además de la institución mencionada, otras autoridades públicas están directamente relacionadas con MWRI:

- La Alta Autoridad de las presas
- LA Autoridad de drenaje, responsable de la construcción y el mantenimiento de drenajes abiertos.
- El Centro Nacional de la Investigación del Agua, que cuenta con 12 institutos y es el organismo científico de MWRI de todos los aspectos relacionados con la gestión de los recursos hídricos.

MWRI también representa a Egipto en las reuniones de los países de la cuenca del Nilo en los temas del agua del Nilo Occidental. Hay varios proyectos conjuntos entre los países para el desarrollo de las aguas del Nilo. Si son cumplidos, incrementarían las acciones de agua de los países miembros de manera significativa. Egipto ganaría un adicional de 9 km³ de agua del Nilo.

El Ministerio de Agricultura y Recuperación de Tierras (MABT, por sus siglas en inglés) está a cargo de la investigación y extensión agrícola, recuperación de tierras y la agricultura, la pesca y el desarrollo de riqueza animal. El Centro de Investigación Agrícola cuenta con 16 institutos y 11 laboratorios centrales y es el organismo científico de MABT de todos los aspectos relacionados con el desarrollo agrícola. La Autoridad de Desarrollo de la Tierra está a cargo de los proyectos de desarrollo de tierras de contratación y seguimiento y gestiona la asignación de tierras a los inversores y particulares. El Desarrollo y Crédito Banco Agrícola ofrece crédito a los agricultores para financiar diversos requisitos de producción.

El gobierno por medio de estos dos organismos invierte considerables recursos nacionales en el Programa de Recuperación del Suelo. La inversión es principalmente en construcción de asentamientos (colonos desplazados por el gobierno), y la provisión de agua potable, electricidad, carreteras; poco se invierte en servicios sociales (educación y salud), y no se invierte en la prestación de servicios agrícolas (tecnología, gestión del agua y financiación rural). En consecuencia, los colonos pobres se enfrentan a dificultades en la obtención del recurso para la agricultura, y un porcentaje considerable se mueven de nuevo a las viejas tierras y abandonan sus nuevos parques terrestres (FAO-Aquastat, 2012).

Una forma de evaluar la eficiencia de esta estrategia de reclamación de terreno para la agricultura puede ser analizarla bajo la lupa de la sustentabilidad, evaluando la disponibilidad del capital natural y la estrategia de reclamación, para poder planear y regular estos casos, por lo que en primer término se encuentran las técnicas de irrigación, ya que la principal actividad a desarrollarse es la agricultura.

En Egipto, el potencial de riego se estima en 4, 420,000 ha. La superficie neta para riego en 2000 fue de 3, 422,178 ha; 85% de esta área se encuentra en el valle del Nilo y el Delta, que corresponde a la parte norte del país y el único sitio de recarga del acuífero por medio de percolación. La irrigación por inundación es una técnica que se utilizaba en el siglo XIX, sin embargo con el avance tecnológico y en respuesta a la creciente demanda de agua, se ha ido sustituyendo por otras técnicas de irrigación como goteo y aspersores, que permiten regular la cantidad de agua que necesitan los cultivos y se disminuya el despilfarro de agua. Esta tendencia de sustitución de los métodos de irrigación en Egipto todavía se encuentra rezagada. Para el año 2000, el riego por inundación se practicaba en el 88.5% (3, 028,853 ha) de la superficie designada para la agricultura y el restante 11.5% tiene un sistema de riego controlado (fig. 12). Si hablamos de que Egipto se sitúa en una región árida donde la disponibilidad de agua es limitada, el problema se agrava, lo que llevó a las autoridades egipcias a prohibir legalmente el riego por inundación en las nuevas áreas recuperadas del desierto sin embargo el sistema de riego del valle del Nilo donde se encuentra la mayor producción agrícola sigue siendo por inundación y se basa en un sistema de gravedad y elevación de agua combinada. Por lo que un avance se ha logrado, pero es necesario tecnificar la parte correspondiente al valle del Nilo que es la zona de mayor producción y debería de ser prioridad para las autoridades el optimizar el uso del recurso hídrico (FAO-Aquastat, 2012).

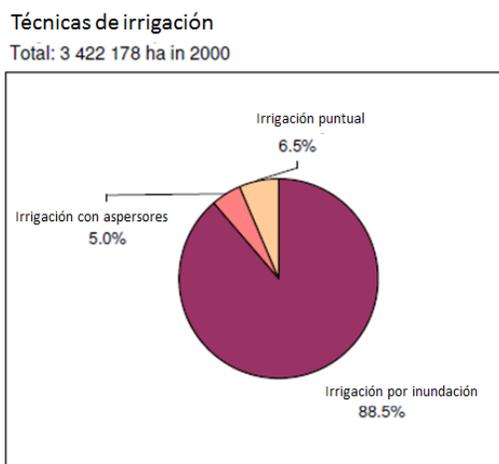


Fig. 11 Técnicas de irrigación, utilizadas en Egipto, el 88.5% se irriga por inundación uno de los métodos más demandantes del recurso hídrico., FAO, 2010

Además de los avances legislativos en el oasis del Valle Nuevo, donde la agricultura no depende del río Nilo, sino que se bombean el agua del acuífero de arenisca de Nubia, los nuevos grandes sistemas de riego están en desarrollo en la parte suroeste del país en el Al Oweinat; en 2003 cerca de 4,200 ha fueron cultivadas y hay planes para extender el proyecto. En la provincia de Fayum, la irrigación por gravedad se practicó en toda la zona de cultivos durante mucho tiempo, pero para el año 2000, el riego por gravedad disminuyó a menos de 1.2% de la superficie cultivada en Fayum.

La producción agrícola en Egipto tiene tres estaciones de crecimiento: invierno (Noviembre-mayo), Verano (abril a octubre) y una intermedia (julio-octubre); los principales cultivos se muestran en la figura 13, todos

se produce tanto en el delta y valle del Nilo, con excepción del arroz que se cultiva principalmente en el Delta, aunque la producción sea menor, los mismos cultivos se producen en el oasis del Valle Nuevo. Los cultivos forrajeros, el trigo, el maíz y el arroz, son cultivos de alta demanda de agua y son aquellos a los que se les destina mayor número de hectáreas (FAO-Aquastat, 2012).

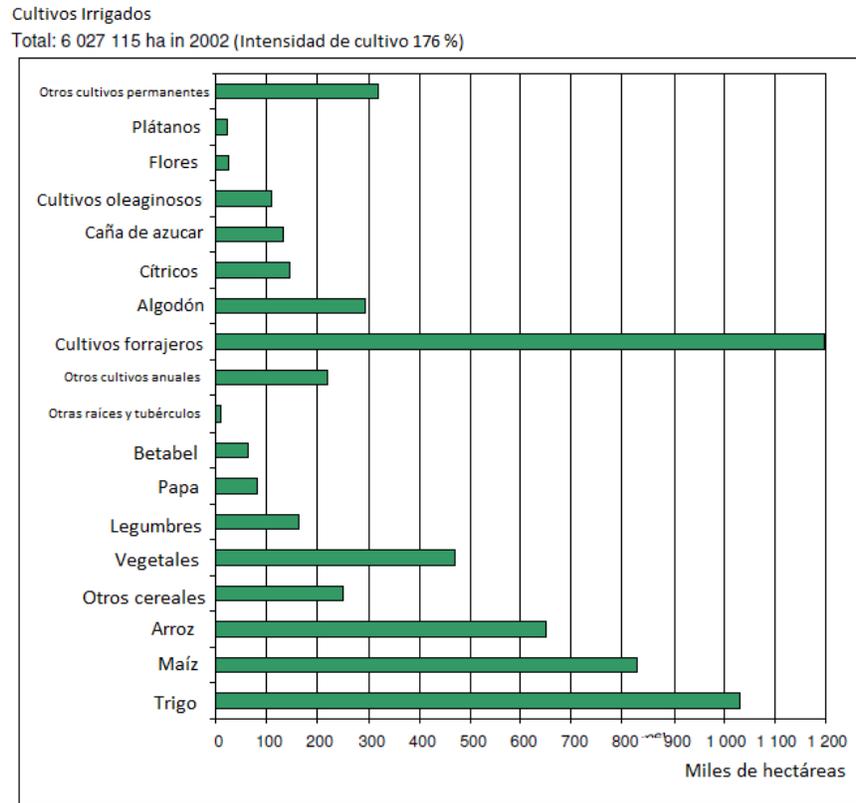


Fig. 12 Diferentes cultivos irrigados en Egipto, los cultivos forrajeros son los más producidos y en su mayoría son de alta demanda de recurso hídrico (FAO, 2002)

La salinidad y el anegamiento están ahora bajo control en alrededor del 80% de las zonas afectadas, tras la instalación de sistemas de canalización para drenar los excedentes de uso agrícola. Esto ha llevado a una reducción de las zonas salinas de alrededor de 1.2 millones de hectáreas en el año de 1972 a 250,000 hectáreas en la actualidad. La intrusión marina es un problema en la parte norte del Delta, donde el agua subterránea se convierte en salobre o salina. Alrededor de la mitad de la Delta contiene agua subterránea salobre a salina. La salinidad media del agua subterránea en el Delta fue entre 680 y 1,170 mg/litro en 2000 y 2001. Se dice que el cinturón de arroz es un factor importante de defensa para mantener bajo control la salinidad en las zonas del norte del delta del Nilo, así como para detener la invasión del agua del mar hacia el interior en el acuífero del delta. La salinidad del agua de drenaje agrícola es mayor en invierno, especialmente aguas abajo, ya que menos agua se utiliza para riego. En el nuevo Canal *Al Salam*, el agua de drenaje se mezcla con agua del Nilo en una proporción de 1:1, y la salinidad del agua mezclada está dentro de niveles seguros (FAO, 2003).

Saneamiento

El principal reto para la sustentabilidad de los recursos hídricos es el control de la contaminación del agua a cargo del Ministerio de Medio Ambiente encargado de la aplicación de la nueva legislación en relación con el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales así como el MABT que también aboga por la agricultura ecológica y la limitación del uso de fertilizantes químicos y pesticidas para reducir la contaminación de los cultivos, el suelo y agua.

La Bilharzia o la esquistosomiasis, sigue siendo una enfermedad común en las zonas rurales de Egipto, pero su ocurrencia ha disminuido en gran medida con la provisión de agua potable mejorada a la mayoría de las zonas rurales, el examen periódico de los niños en edad escolar, tratamiento médico gratuito y programas de extensión para educar a la gente sobre las formas de proteger contra la enfermedad. El Ministerio de Salud y Población anunció que los casos de bilharzia en las muestras examinadas de la población rural en 2001 fueron de alrededor del 4%. El paludismo es poco frecuente en Egipto (FAO, 2003).

Perspectiva de desarrollo y mejoramiento en el manejo de agua

Al canal de riego *Al Salam* inaugurado en 2002, se entregó agua mezclada del Nilo y dos drenajes principales del delta del noreste y el norte del Sinaí. El área a ser regada con agua del canal es de aproximadamente 268,800 ha. En el plan de desarrollo de cinco años que terminó en 2007, 463,000 hectáreas se desarrollaron, todo fuera de la cuenca del Nilo. Esta área incluye:

- 150,000 hectáreas al este del Delta y en el Sinaí, como parte del proyecto de Al Salam.
- 228,000 hectáreas en el Alto Egipto y el Valle Nuevo en Toshky y Al Oweinat, que se inaugurará en los próximos años.
- 64,000 ha en la costa noroeste.
- 11,000 hectáreas en el Delta occidental.
- 10,000 ha en el Egipto Medio.

Todas las nuevas áreas de desarrollo tienen que utilizar aspersores o riego localizado. No se permite el riego por inundación fuera de la cuenca del Nilo. El proyecto *Al Salam* y el proyecto en *Toshky* se han financiado a nivel local y con ayuda de los países árabes y los organismos internacionales. El plan a largo plazo en la región de Sinaí es el desarrollo de 630,000 ha; el actual plan quinquenal incluye 107,520 hectáreas en la región (FAO, 2003).

VI. MÉXICO Y LA DISTRIBUCIÓN DESIGUAL DEL AGUA

La precipitación media anual en México es de 758 mm, que suponen un volumen de agua en todo el territorio de 1,489 km³. De este volumen total, cerca del 72.5% se pierde en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua y vuelve a la atmósfera, 350 km³ escurre por los ríos o arroyos, y 150 km³ se considera agua subterránea renovable de los cuales 91 km³ se infiltra al subsuelo de forma

natural para recargar los acuíferos, haciendo un total de recursos hídricos internos renovables anuales (RHIR) de 409 km³ (CONAGUA/SEMARNAT, 2012).

La disponibilidad del agua de una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración de la vegetación.

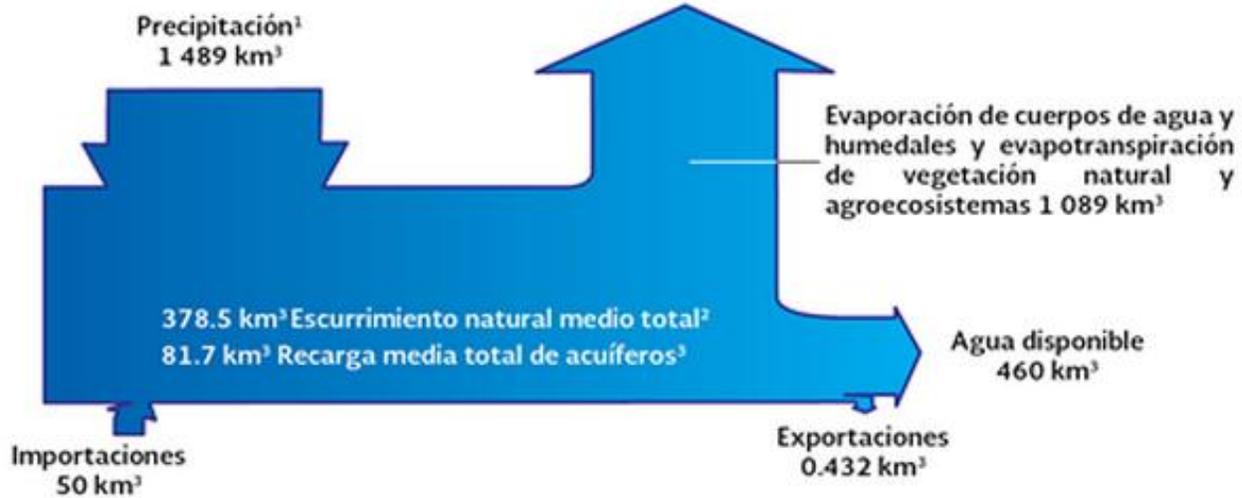
Estos recursos hídricos se encuentran repartidos de una forma desigual en el territorio mexicano, lo que da lugar a variaciones significativas de las disponibilidades de agua según regiones (fig. 13). El 50% del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20% del territorio, mientras que el norte, que abarca el 30% del territorio, genera sólo el 4% de dicho escurrimiento. Por lo que se puede decir que México es un país mayormente árido, donde el agua abunda apenas en algunas zonas locales. Existe una producción agrícola que rebasa la tasa de recarga; eso hace que el nivel de los mantos freáticos vaya en declive y exista una competencia entre los usos humanos y la conservación de los ecosistemas tanto acuáticos como terrestre (SEMARNAT, 2012)

Diferencias en la disponibilidad natural media de agua



Fig. 13 Disponibilidad natural media de agua en México, el sureste con una disponibilidad de siete veces mayor al resto del país. (CONAGUA, 2012)

Balance de agua en México



Notas:

¹ La precipitación media anual se refiere al periodo 1971-2000. Los valores restantes son los reportados al 2009.

² Comprende el escurrimiento natural medio superficial más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.

³ La recarga natural de acuíferos reportada, más 9 km³ de recarga incidental conforman la recarga media total. Se entiende por recarga incidental aquella que es consecuencia de alguna actividad humana como riego de jardines, fugas de agua en redes de distribución y alcantarillado, descargas de fosas sépticas e infiltraciones en canales de tierra y otros; que no cuenta con la infraestructura específica para la recarga artificial.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México, 2011.

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial con agua residual tratada*. 2009 (18 de agosto).

Fig. 14 Balance de agua en México, aunque existe una precipitación considerable la tasa de evaporación la contrarresta, dejando 460 km³ de agua disponible (SEMARNAT, 2012).

En 2011, la extracción hídrica total nacional para usos consuntivos alcanzó los 80.3 km³, destacando el sector agrícola con un consumo de 61.6 km³, equivalente al 77% del total de las extracciones. El consumo municipal alcanzó los 11.4 km³, (14%), la industria alcanzó un consumo de 7.3 km³ (9%), de los cuales 4.1 km³ son para enfriamiento de plantas termoeléctricas, como se puede observar en la siguiente gráfica (fig. 15). En el total no se incluyen 164.6 km³ de uso no consuntivo, entre los que destaca el uso hidroeléctrico con 136.1 km³ (CONAGUA, 2011).

Extracciones de agua por sector
Total 80.3 km³ en 2011

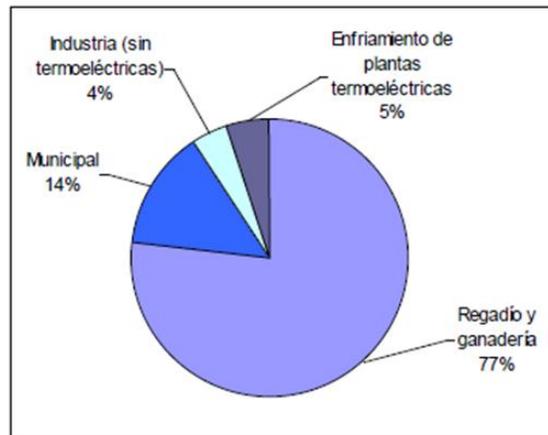


Fig. 15 Distribución del abastecimiento de agua en los cuatro principales sectores, Regadío y Ganadería acaparan el 77% del agua extraída, a continuación el 14% es destinado a uso municipal y el 9% restante se emplea en la industria, (5% para el enfriamiento de plantas termoeléctricas y el 4% para la industria sin termoeléctrica) en México, FAO, 2011

Origen de agua extraída

En 2009, del agua utilizada para uso consuntivo

- 57.74% de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos).
- 37.35% de fuentes subterráneas (acuíferos).
- 3.45% de utilización directa de agua residual municipal tratada.
- 1.44% Uso directo de agua residual industrial tratada.
- 0.02% proviene de agua desalinizada.

El 34% del agua concesionada para el uso agrícola es de origen subterráneo, lo que representa un incremento del 23% en el periodo del 2001 al 2009. Para el abastecimiento público el tipo de fuente predominante es la subterránea con el 62% del volumen. En cuanto a la industria se refiere, el agua subterránea abarca el 51% de las extracciones (CONAGUA, 2011).

En cuanto al origen del agua de riego, tradicionalmente los grandes sistemas de riego han estado constituidos por embalses o derivaciones de ríos y canales de gravedad, empleándose como técnica de riego, el riego por inundación.

Así se desarrollaron los primeros sistemas de riego, que constituyen hoy los Distritos de Riego del Noroeste y que presentan pérdidas considerables en la red (eficiencia global entre el 25 y 35%). Iniciada la utilización del agua subterránea, solamente cuando se establecieron zonas de veda de asignaciones y de volúmenes de extracción (especialmente en la zona central del país: Guanajuato, Querétaro, Distrito Federal, etc.) debido a la sobreexplotación de acuíferos, se empezó a modificar los sistemas de riego y a mejorar sus eficiencias. Las zonas con mayor tradición en el riego y que han comenzado a sentir los efectos de la escasez del agua, son las que han comenzado a mejorar su eficiencia de riego (zonas centro, noroeste

y norte), mientras que en aquellas donde el agua es más abundante (zona sur-sureste), esta mejora se ha producido de una forma más lenta, en la siguiente figura se muestra en qué porcentaje es utilizada cada fuente de agua (FAO-Aquastat, 2012).

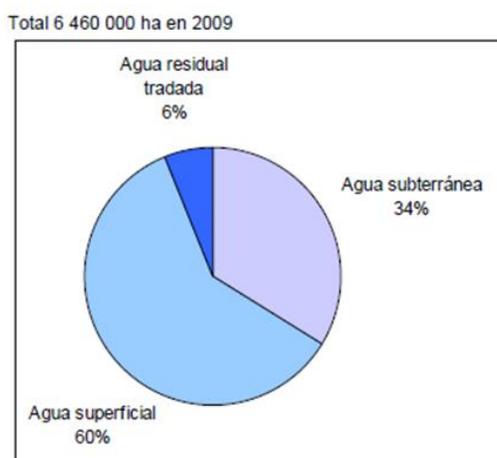


Fig. 16 El 60% de agua utilizada para riego proviene del agua superficial, 34% es de origen subterráneo, y de agua tratada solo se obtiene un 6%, FAO 2009

Con relación al uso directo del agua residual o no tratada, éstas se usan principalmente en el estado de Hidalgo, provenientes de las descargas generadas en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), se utilizan para riego agrícola en más del 80 mil hectáreas de cultivo, principalmente maíz y alfalfa. Gracias al riego con aguas residuales, la actividad agrícola en los distritos de riego 003 Tula, 100 Alfajayucan y 112 Ajacuba, representa la mayor fuente de ingresos para los agricultores de la región, pero también significó un problema de salud pública hasta antes de aplicación de las normas para regular el uso de las aguas residuales y tratadas (Cifuentes *et al.*, 1993) (Cifuentes *et al.*, 1994).

En la actualidad se encuentran en proceso el proyecto de construcción y puesta en marcha de la Mega Planta de tratamiento de agua residual de Atotonilco (PTAR-A), que es una de las piezas más importantes del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México (PSHCVM) establecido por el Gobierno Federal para solucionar integralmente el manejo del agua en la zona más poblada del país. Esta planta es la más grande de América Latina y una de las cuatro más grandes del mundo, con una capacidad de 35 mil litros por segundo: 23 mil litros por segundo en promedio y 12 mil litros por segundo adicionales en temporada de lluvias (CONAGUA, 2010). Esta planta disminuirá el problema de contaminación que persiste en el Valle del Mezquital, provocado por el agua residual que llega a esa población desde hace más de 100 años (Jimenez, 2007)

Gestión del agua, políticas y legislación relativas al uso de agua en la agricultura.

En 1989 se creó la **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)**, como un órgano desconcentrado de en aquel entonces la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), como única autoridad facultada para administrar las aguas nacionales.

En 1992, la Ley de Aguas Nacionales formalizó los avances institucionales que se habían logrado con la CONAGUA. En 1994 con la nueva administración federal, la CONAGUA cambió de la SARH a formar parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

En 1997 el país se dividió en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA), las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, pero sus límites respetan los municipales, para facilitar la integración de la información socioeconómica. La CONAGUA desempeña sus funciones a través de las 13 RHA (CONAGUA/SEMARNAT, 2012).

La CONAGUA trabaja en conjunto con diversas instituciones en el ámbito federal, estatal y municipal, así como con asociaciones de usuarios y empresas e instituciones del sector privado y social, y organizaciones internacionales. El **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)** se encarga de la investigación, capacitación y asistencia técnica en riego y drenaje, infraestructura hidráulica y abastecimiento de agua (www.imta.gob.mx). La responsabilidad de prestar los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales se encuentra a cargo de los municipios (CONAGUA/SEMARNAT, 2012).

Técnicas de irrigación

Las mejoras en la eficiencia de riego, también ha repercutido en las técnicas de riego. En este contexto el gobierno impulsó en los años 90 un programa de ferti-irrigación, que tenía como objetivo incrementar la productividad de las superficies bajo riego y reducir el consumo de agua. Favorecidos por dicho programa, en el período 1993-1997, la superficie con riego por aspersión y localizado aumentó un 135% (310,800 ha en 1997) y 119% (143,050 ha en 1997), respectivamente, mientras que el riego por inundación abarcaba 5, 802,000 ha o el 93% del total de la superficie. Buena parte de la superficie bajo riego localizado, ha sido transformada para el riego de frutales. En la actualidad se disminuyó a un 80% el riego superficial, sin embargo, es necesario que se siga aumentando la superficie de riego presurizado (aspersión o localizado), para que el ahorro del agua sea óptimo (CONAGUA, 2010).

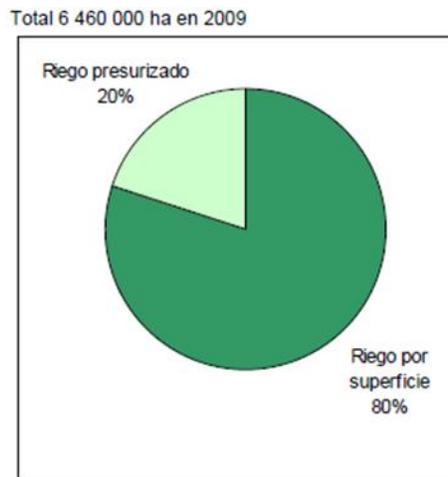


Fig. 17 Técnicas de riego en superficie con infraestructura de riego con dominio total como se observa en la gráfica el 80% es por inundación de la superficie que refleja una pérdida importante del recurso hídrico. FAO, 2009.

Papel del riego en la producción agrícola, la economía y la sociedad

En 1995, 128 cultivos se cultivaron bajo riego sobre un total de 148 cultivos en el país. Nueve cultivos, o grupos de cultivos, ocupaban el 79% de la superficie bajo riego: maíz, trigo, oleaginosas, forrajes perennes, hortalizas, sorgo, frijol, frutales y caña de azúcar. Generalmente en los ejidos predominan los granos básicos mientras que el sector privado presenta una mayor diversificación de cultivos, con un énfasis especial en los de alto valor añadido (FAO-Aquastat, 2012).

En el 2009, los principales cultivos por superficie cosechada fueron maíz, sorgo y frijol, el rendimiento, medido en ton/ha, de la superficie de riego, fue de 2.2 a 3.6 veces mayor que la productividad de temporal. Como ejemplo, el maíz rindió 7.33 ton/ha en régimen de riego y 2.06 ton/ha en régimen de secano (FAO-Aquastat, 2012)

La superficie total cosechada de cultivos con infraestructura para el riego asciende a 5,966,875 ha, de las cuales los más importantes son los cultivos de grano con 3,208,225 ha (54% del total), los forrajeros con 1,199,926 ha (20%), las hortalizas con 513,867 ha (9%), los frutales con 299,388 ha (5 por ciento), los cultivos industriales con 258,475 ha (4%), los cítricos con 182,303 ha (3%), los textiles con 157,789 ha (3%), las oleaginosas con 76,838 ha (1%) y otros cultivos con 70,064 ha (1%) La tendencia de mayor cultivo de grano y forraje se mantiene desde 2009, estos cultivos son en general de alta demanda de agua (CONAGUA, 2011).

Cultivos cosechados en superficies con infraestructura de riego con dominio total
 Superficie total cosechada: 5 966 875 ha en 2009 (intensidad de cultivo sobre superficie efectivamente regada: 110%)

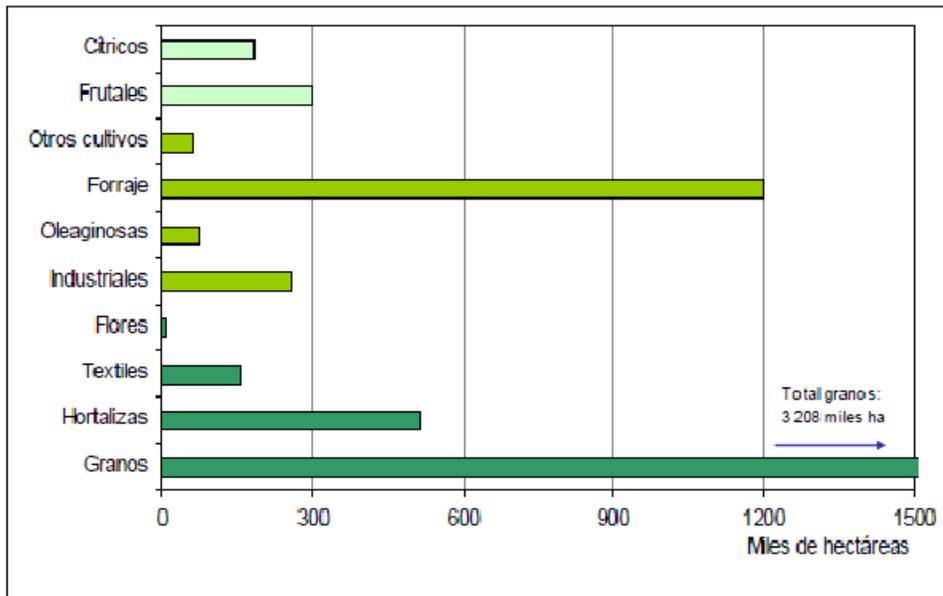


Fig. 18 Cultivos cosechados en superficies con infraestructura de riego, los granos son aquellos con mayor número de hectáreas producidas (3,208 miles de ha.) en segundo lugar, pero con una superficie que es menos de la mitad de la superficie ocupada para la producción de granos, se encuentran los cultivos de forraje.

Agua residual de uso agrícola

En 1997, existían en México 2.78 millones de ha con drenaje en los sistemas de riego. Existen además, otros 2.4 millones de ha en 18 Distritos de Temporal Tecnificado (DTT) donde el Gobierno Federal ha construido algún tipo de infraestructura hidráulica destinada a la evacuación del agua en exceso o a la protección contra inundaciones, principalmente en las planicies tropicales y subtropicales del país. En el trópico húmedo hay un potencial de DTT de 7.5 millones de ha. Los DTT se encuentran en los estados de Tamaulipas (655,000 ha), San Luis Potosí (50,000 ha), Nayarit (24,000 ha) y el sur del país; Veracruz (126 698 ha), Campeche (103,000 ha), Tabasco (345,675 ha), Yucatán (693,174 ha) y Chiapas (421,949 ha).

A partir de 1991, la responsabilidad de los DTT se confirió a la Comisión Nacional del Agua. Hasta 1997 se contaba con 5,056 km de caminos, 3,739 km de drenaje, 663 km de bordos de protección y 4,939 estructuras. El coste medio de instalación del drenaje en dichos DTT variaba en 1997 entre 500 y 1,000 \$USD/ha. Sin embargo, existe gran parte de la población rural que no cuenta con un sistema de drenaje eficiente y muchos otros ni hay existencia de este.

En el 2009, la Red Nacional de Monitoreo contaba con 1,510 sitios, distribuidos a lo largo y ancho del país. De acuerdo con los resultados de las evaluaciones de calidad del agua, según los indicadores DBO₅, DQO y SST, en el año 2009, se determinó que 21 cuencas están clasificadas como fuertemente contaminadas en algún indicador, en dos de ellos o en todos. En 2009, los porcentajes de las estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficial a nivel nacional, de acuerdo con la clasificación de la categoría de DBO₅

presentaron los siguientes valores: 5% registraba fuerte contaminación, 8% contaminación considerable, 20% contaminación aceptable, 27% buena calidad y 41% presentó excelente calidad (CONAGUA, 2011).

La mortalidad infantil debida a las enfermedades diarreicas provocadas por el agua se ha reducido como resultado de diversas acciones e intervenciones en salud pública, entre las que se encuentran la distribución de suero oral (a partir de 1984), las campañas de vacunación (a partir de 1986), el Programa Agua Limpia (a partir de 1991), y el incremento de las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, que reducen la exposición a los agentes patógenos.

Prospectiva de Sustentabilidad

Se estima que la población en México se incrementará en 12.3 millones de habitantes entre 2010-2030. Se calcula que para el 2030, el 70% del crecimiento poblacional ocurrirá en RHA de VIII Lerma-Santiago-Pacífico, XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo y I Península de Baja California. En cambio, las regiones III Pacífico Norte y V Pacífico Sur experimentarán una disminución de su población. Algunas de las RHA para las que se espera mayor crecimiento poblacional son al mismo tiempo aquellas donde ya existe un alto grado de presión del agua. En contraste, en algunas RHA con menor grado de presión se espera un crecimiento menor. El incremento de la población ocasionará la disminución del agua renovable per cápita a nivel nacional.

En 2007 se presenta la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), que permitió identificar oportunidades de reducción de emisiones de GEI y de desarrollo de proyectos de mitigación; así como reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación (Banco Mundial, 2009) .

La Agenda del Agua 2030, impulsada por la CONAGUA, ofrece una visión a largo plazo y busca conformar una coalición institucional para superar los rezagos del sector y consolidar la política hídrica de sustentabilidad en el país. Los ejes y estrategias son los siguientes: ríos limpios, cuencas en equilibrio, cobertura universal y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas (CONAGUA, 2011).

VII. LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y SU DEMANDA HÍDRICA

El sector agrícola, es por mucho el sector que ocupa más recursos hídricos en el mundo, se consume acerca del 80% - 90% del agua disponible, desafortunadamente la eficiencia del uso es pobre y tiene pérdidas que van del 45 al 50% en caso de riego por surcos o aspersión. Si las pérdidas fueran menores, como en el caso de riego por goteo, el consumo de agua sería comparable con el de los sectores industriales y domésticos (Hamdy *et al.*, 2003). Según la FAO, existen 2,600 millones de personas que trabajan en el sector de la alimentación y la agricultura. Esto equivale al 40% de la población mundial. Mientras que una sexta parte de la población mundial pasa hambre hoy en día en muchos países en vías de desarrollo, el regadío representa el 90% del uso del agua, por lo que la optimización de la agricultura

con tecnologías nuevas en este tipo de sistemas áridos disminuirá significativamente en el porcentaje de agua usada (FAO, 2003)

La Organización de Naciones Unidas (ONU) predice que para el año 2030 la población mundial necesitará por lo menos un 35% más de alimentos, un 40% más agua y un 50% más de energía. Ya en la actualidad, 768 millones de personas carecen de acceso a fuentes mejoradas de agua, es decir, construidas de forma que estén libres de contaminantes; 2.500 millones de individuos no poseen saneamientos en buen estado.

Hoy, la escasez de agua abarca la mayor parte de los países áridos y semiáridos, lo que ha afectado la producción agrícola, al grado de no poder satisfacer la demanda del país, provocando una dependencia alimenticia reflejada en la creciente importación de productos alimentarios y es cuando el agua tiene un valor económico agregado; si el agua no es escasa, su valor económico es cero, en el caso de Egipto y México tiene un valor positivo, por lo que debe ser racionada. Esto significa que algunas personas tendrán acceso y otras no; pero ¿cuál es entonces el rol crítico de la escasez?, en el caso de la agricultura, donde se usa el agua no como objeto directo (consumo doméstico), es necesario hacer ajustes referentes a la asignación y uso del agua. A nivel político establecer la tarifa del agua para uso agrícola, se ve fuerte influencia en el precio del producto final (Richards, 1995). Esto es especialmente importante ahora en Egipto, ya que la inestabilidad política provoca cambios en los precios de los productos agrícolas dependientes del agua como es la caña de azúcar, el arroz y el algodón que son de alta demanda hídrica (MWRI, 2010).

Después del recuento de indicadores alarmantes sobre la situación actual y el panorama que se vislumbra si no existe un cambio en los paradigmas de modo de vida actuales y se continúa por el camino del consumismo, nuestro fin con las condiciones con las que contamos ahora se ve cercano. Por lo que los organismos internacionales como la FAO, proponen una serie de mejoras en las **Prácticas de gestión del agua**, las cuáles consideran mejoras estructurales en los sistemas de riego, tecnificación e inversión en modelos verdes que disminuyan el despilfarro de agua para regadío, aumentar la productividad del agua reduciendo la distancia entre la fuente de abastecimiento y los cultivos, transición de un enfoque basado en la oferta a un enfoque basado en la demanda en la gestión del agua para la agricultura. Hoy en día, el enfoque de gestión del agua para la agricultura se basa en la infraestructura física para garantizar la oferta; esto debería evolucionar hacia un enfoque basado en el uso sostenible del agua, con una mayor consideración de las soluciones económicas por lado de la demanda.

La FAO también propone la necesidad de capacitar a los tomadores de decisiones para plantear un desarrollo basado en evaluaciones de impacto que garanticen una gestión sustentable del agua. Transmitir el conocimiento al consumidor y sensibilizar al público sobre conceptos como eficiencia del agua, la calidad del agua y la certificación para modificar comportamientos y construir una sociedad verde. Compartir el aprendizaje y conocimiento de prácticas de gestión como la agricultura de conservación, la gestión de los nutrientes, la gestión integral de las plagas, la gestión de las aguas subterráneas y la programación de los riegos. Implicar a los habitantes locales, tanto a mujeres como a hombres, y crear

oportunidades económicas locales. Mejorar su capacidad de planificación, ejecución y gestión de programas de silvicultura y reforestación. Se necesita mayor educación e información sobre cómo hacer un mejor uso de los recursos forestales y cómo hacer que los cultivos sean sostenibles.

Gobernabilidad del agua

- Es necesario un diálogo entre los gestores del agua, los responsables de los planes agrícolas y otros agentes interesados para identificar e implementar las soluciones adecuadas.
- Se requiere un marco de gobernabilidad integral por el que se gestione el agua en todos los sectores a través de instituciones apropiadas que tengan autoridad para llevar a cabo este enfoque integral.

Con todas las desventajas, una parte de la población preocupada por la situación ambiental, busca soluciones y es cuando se propone el desarrollo sustentable, donde se plantea una conversión de todos los modos y formas de vida que están atentando al equilibrio ecológico con el propósito de que las próximas generaciones puedan subsistir en la Tierra. Suena muy radical e imposible de lograr tal objetivo, a pesar de eso lo que se espera es crear una conciencia social, donde cada uno haga acciones y el impacto general disminuya con el paso del tiempo y las nuevas generaciones, lo anterior se puede ver reflejado en el modelo de producción, donde se haga la integración de un agroecosistema en el cual se incluya salud ecosistémica que permita el mantener los servicios que estos brindan, la seguridad alimenticia y el buen manejo del recurso hídrico (fig. 19).

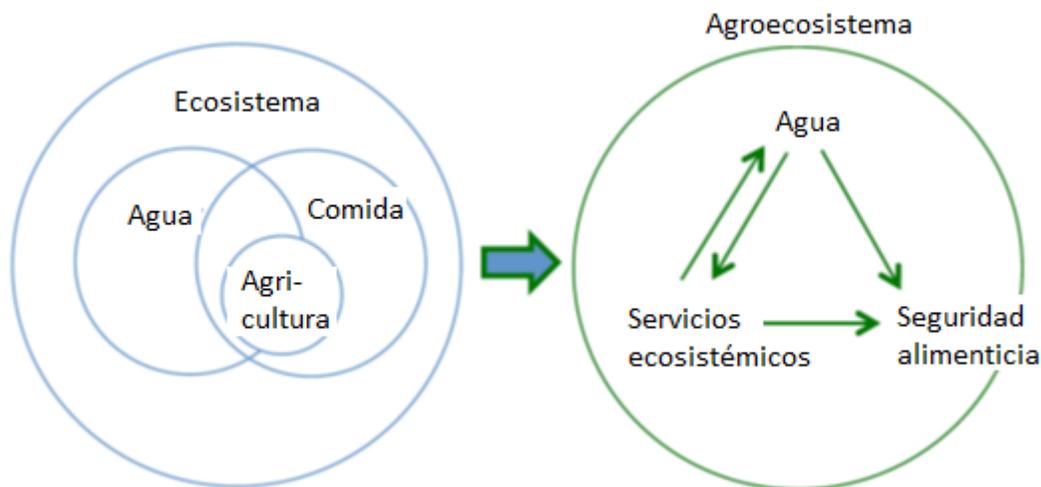


Fig. 19 Cambio en la producción agrícola, donde se haga una integración en un agroecosistema, exista un ciclo entre el agua, los servicios ecosistémicos y la seguridad alimenticia

Justificación

En la actualidad los países que poseen grandes extensiones de zonas semiáridas y áridas en su territorio, reconocen la necesidad de regular y aplicar medidas innovadoras, respaldadas del uso de nuevas tecnologías que en conjunto permitan mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Una herramienta fiable para medir esta eficiencia se reconoce en el uso del agua en los sectores de producción primaria, principalmente el agrícola, el cual se vincula estrechamente a la producción alimentaria y salud pública. Otros indicadores de la eficiencia en el uso del agua, son el abastecimiento y el saneamiento. La medición de litros de agua potable disponibles para el usuario que cubra todo el espectro de sus necesidades básicas (ecológicas y de producción), pero sobretodo la abastecida mediante una red de agua potable e infraestructura de potabilización que garantice su calidad; así como una red de colecta del agua residual y la infraestructura de saneamiento para poder reusarla tantas veces como sea posible en otras actividades. Son datos que pueden ser fiables para usarse en mediciones de sustentabilidad a corto y largo plazo. Por lo tanto, el uso de agua en agricultura, su aporte en abastecimiento y posterior saneamiento deben ser parámetros evaluados y monitoreados en lo técnico, económico, social, legislativo y ecológico para analizar y diagnosticar comparativamente la eficiencia en el uso del agua y su manejo estacional y climático.

Objetivo General

Evaluar el estado del recurso hídrico (abastecimiento y saneamiento) en dos casos de estudio, Abu Minqar (Egipto) y El Alberto, (México), para conocer su aprovechamiento y probar si son indicadores significativos de desarrollo sustentable en ambas localidades.

Objetivos específicos

- Establecer el ciclo hidrológico de ambas comunidades en su contexto ecológico y social.
- Analizar el uso actual de los recursos hídricos en ambas comunidades
- Definir características de reúso eficiente del agua según los términos de sustentabilidad para cada caso de estudio.

Caracterización de los sitios de estudio

ABU MINQAR, DESIERTO DEL OESTE; EGIPTO

Abu Minqar, que está bajo administración del gobierno Farafra, es una comunidad oasis del desierto occidental situado 100 km al suroeste de Farafra, y 200 km al noroeste de Dahkla Oasis.

En comparación con los oasis de los alrededores, Abu Minqar es relativamente pequeño, con un total de superficie cultivada de aproximadamente 3,800 feddan (un feddan equivale a 0.41 ha). Ubicado entre la arena de rodadura dunas del Gran Mar de Arena en el oeste, y los acantilados del desierto al norte, Abu Minqar es una pizca de verde rodeado por el Sahara por cientos de kilómetros. Con la frontera nacional situada a tan sólo 300 km de distancia, Abu Minqar es lo más cercano a Libia (fig. 20).

Es una comunidad relativamente nueva, el primer pozo profundo que se construyó fue en 1960, pero no se consolidó de forma permanente hasta después de 1987. Los habitantes del oasis tienen diversos antecedentes sociales y culturales. La mayoría de los habitantes del oasis provienen de seis pueblos de los alrededores del Nuevo Valle. Estas son comunidades de los oasis Dakhla, Kharga y Farafra; del Alto Egipto, Minya, Asyut, Suhaj y Qena y finalmente del delta del Nilo, Tanta y Mansoura; con una minoría procedente de otras localidades de Egipto, como Fayum. Algunos colonos proceden de zonas urbanas, otros previamente trabajaron como agricultores, y otros todavía son Beduinos, algunos de los cuales remontan su linaje a la Península Arábiga. En el último registro correspondiente del gobierno local de Abu Minqar, la población en el 2007 es de 4,141 habitantes.

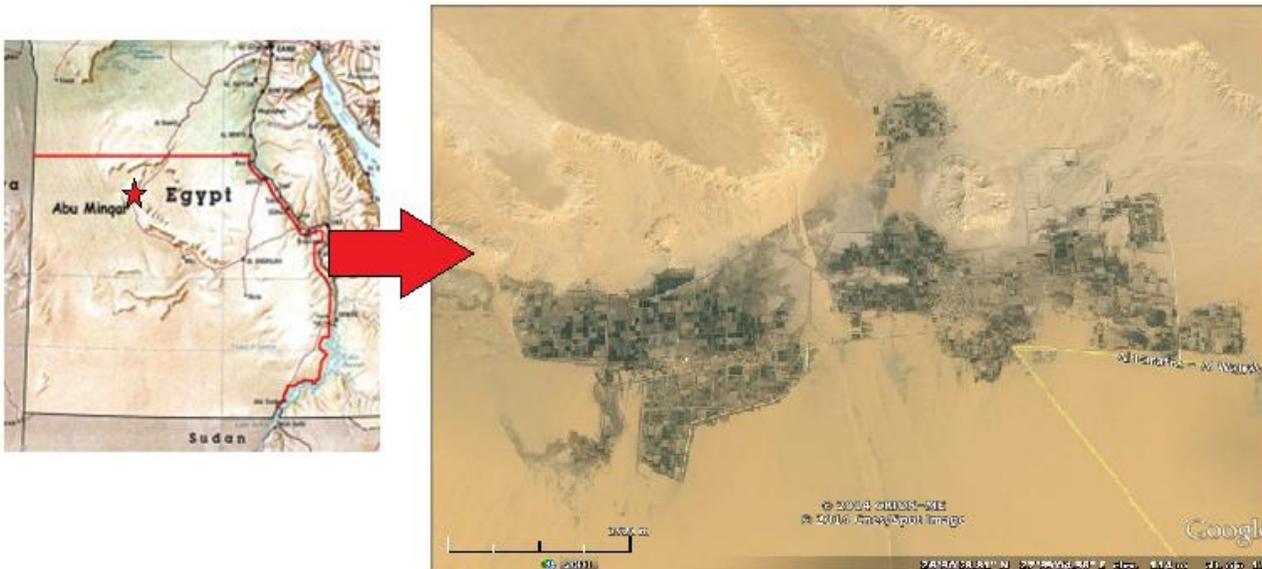


Fig. 20 Localización de Abu Minqar, línea roja indica la delimitación del Protectorado del Nuevo Valle, der. Vista aérea del sitio de estudio.

Abastecimiento

Egipto se encuentra dividido en cuatro regiones físicas, las cuales tienen diferentes características geológicas. Están el Valle y Delta del Nilo, Desierto del Oeste, Desierto del este y la Península de Sinaí; de las regiones anteriores el Valle y Delta del río Nilo son las regiones que soportan el 90% de la población que cultiva y el sitio de estudio (Abu Minqar) se encuentra en la región del Desierto del Oeste.

En general los recursos acuáticos en Egipto se están volviendo escasos. El agua superficial proveniente del río Nilo, está ahora completamente explotada, y el país ha buscado y trabaja permanentemente en ello para encontrar la manera de enfrentar la creciente demanda de agua y poder soportar el rápido crecimiento de su población. Es por esto que el desplazamiento de habitantes y su reubicación a zonas despobladas cobra importancia y junto con ello el agua subterránea comenzó a ser explotada; lo que dio lugar a hacer una división y gestión más estricta de las unidades hidrológicas (fig. 21) (RIGW/IWACO, 1988,1993).

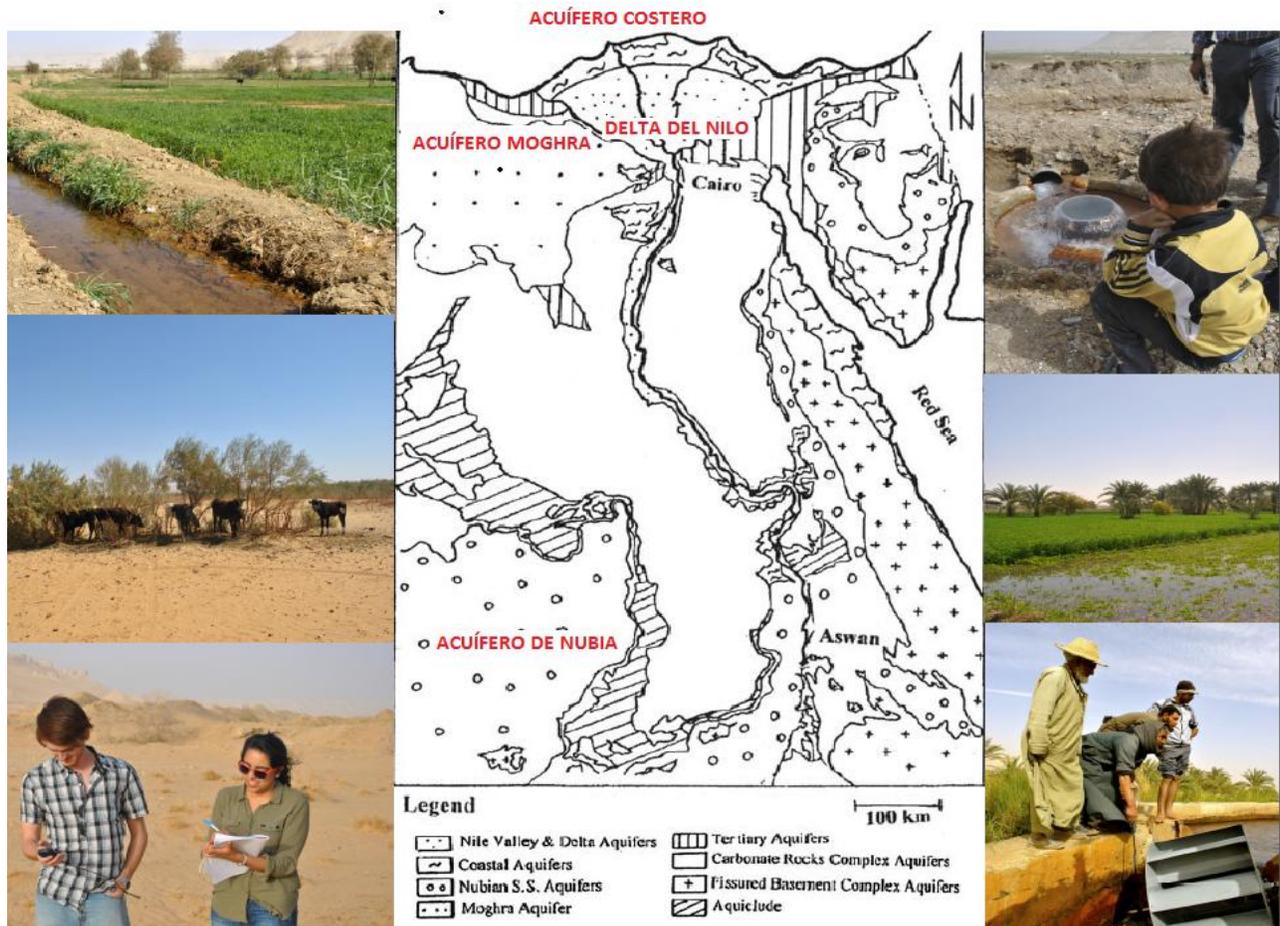


Fig. 21 Al centro mapa de las 8 regiones hidrológicas, en rojo, los acuíferos (Nubia, Moghra y Costero, que se junta con el afluente del Nilo), alrededor fotos ilustrativas del Abu Minqar, campos de cultivo, pozos y ganado.

ACUÍFERO DE ARENISCA DE NUBIA

Este sistema fue formado en el periodo del Cretácico al Paleozoico cubre el sureste de Libia, noreste de Chad, norte de Sudan y gran parte de Egipto, con una superficie total de unos dos millones de kilómetros cuadrados. Las unidades geológicas dominantes del sistema son las cuencas de Kufra y Dakhla, las cuales tuvieron un desarrollo geológico distinto. La formación de la cuenca de Kufra comenzó en el Paleozoico Temprano y fue completada al final de Cretácico Temprano. Sin embargo, existe una predominante presencia de sedimentos pertenecientes al Paleozoico. Por otro lado, la cuenca de Dakhla, se presume, fue formada al principio del Cretácico por lo menos en la parte inferior; mientras que al norte de la latitud del Oasis de Dakhla, es posible encontrar sedimentos paleozoicos. (fig. 22)

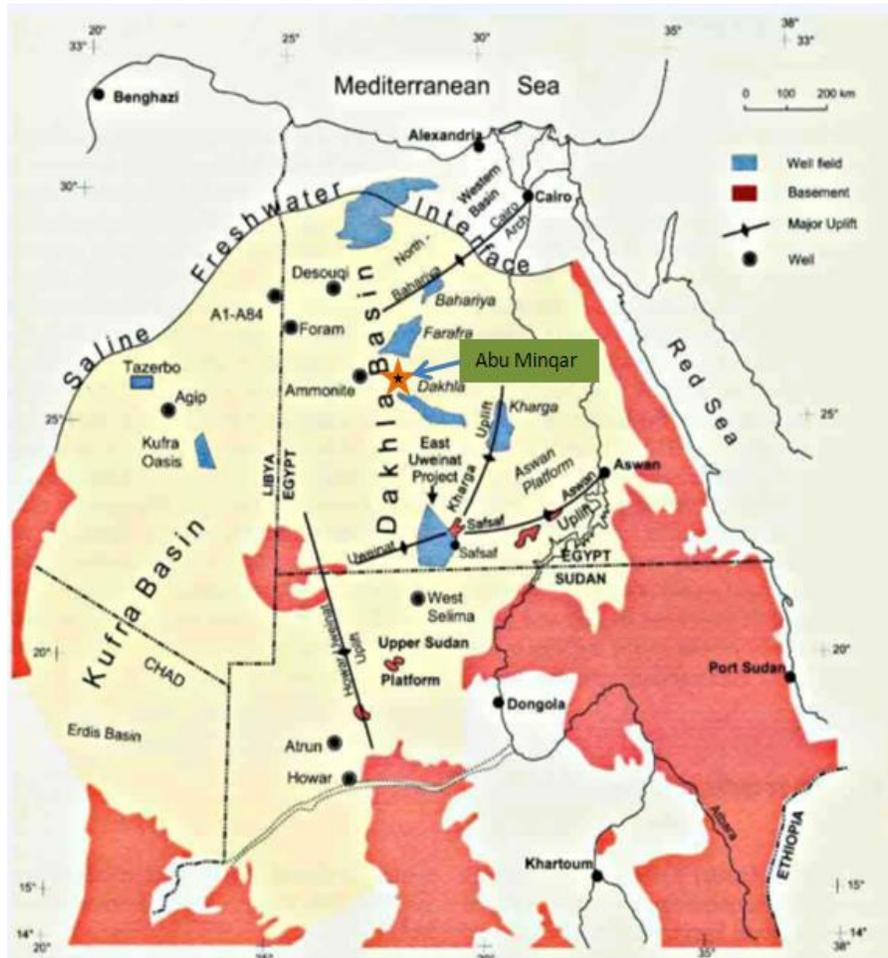


Fig. 22 Mapa de la superficie total del Acuífero de arenisca de Nubia, se señala sus dos cuencas principales (Kufra y Dakhla), en azul las zonas irrigadas con agua proveniente del acuífero, en la parte superior de la imagen se señala la interfaz del agua dulce con el agua salada; señalado con una estrella Abu Minqar. Imagen (Thorweihe & Heini, 2002).

En la frontera norte y noroeste del acuífero, los poros del sedimento se llenan con agua salina proveniente ya sea de una intrusión de agua del mar Mediterráneo o del agua subterránea que no fue purgada desde la sedimentación de los depósitos marinos (Thorweihe and Heini, 2002). Es por lo tanto un sistema acuífero ampliamente cerrado. Se calcula que el volumen total de aguas subterráneas del sistema se encuentra en

un orden de 150,000 km³ (Ambroggi, 1966). Este valor corresponde a una descarga continua de 1,800 años. Ambroggi también propuso tres posibles formas de recarga de este sistema:

- Importe de agua subterránea regional de las zonas con un reciente recarga de agua subterránea.
- Infiltración local a través de la precipitación durante períodos húmedos en el pasado.
- Aumento del agua, posterior a la construcción de la presa que permitió una filtración de agua del Nilo

En Egipto el Acuífero de Arenisca de Nubia, está dividido en cinco subsistemas, uno de los cuales corresponde al Desierto del Oeste. Esta cuenca es explotada particularmente en el protectorado del Nuevo Valle, donde existe una intensa perforación de pozos, en un periodo reducido a tan solo cinco décadas (fig. 23), a profundidades de 500 hasta 1,000 m.

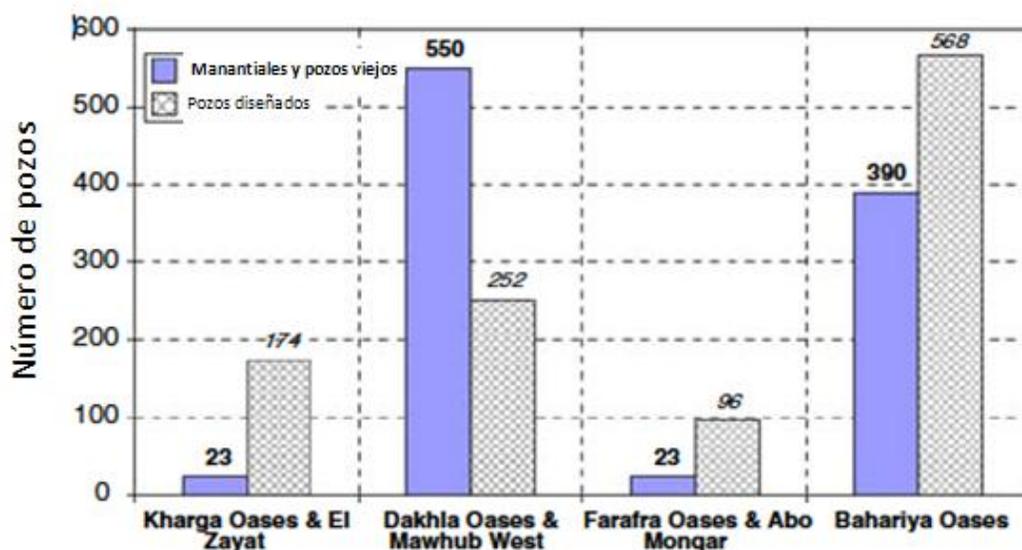


Fig. 23 Cuatro comunidades del Nuevo Valle, y su correspondiente número de pozos, en morado los pozos artesanales y gris los pozos diseñados, el tercer par, corresponde al Oasis de Farafra y de Abu Minqar, con 23 pozos artesanales y 96 pozos diseñados, de los cuales solo 15 pertenecen a Abu Minqar.

Geológicamente el sistema se encuentra sobre camas de arenisca y arcilla; las capas de arcilla son lateralmente discontinuas y separadas. La arenisca separa al sistema acuífero mediante una zona de varias capas, delimitada por debajo por un sótano impermeable de rocas. Por la parte superior, es ocasionalmente cubierta por rocas impermeables, intercaladas por arcillas; el flujo del agua subterránea en el sistema es generalmente hacia el noreste con un gradiente de orden 0.5 m/km.

La salinidad del agua en la cuenca del Desierto del Oeste varía de manera vertical y horizontal, mostrando un aumento de suroeste a noreste y usualmente una disminución con la profundidad; estos análisis realizados dan información de que existen dos tipos de calidad de agua que puede ser utilizada para diferentes propósitos, irrigación y domésticos, mostrando que las SDT (Sólidos Disueltos Totales) se encuentran en un rango de entre 278 y 824 mg/l (Werwer *et al.*, 2000).

Los parámetros del Oasis de Farafra a 84.8 km del Oasis de Abu Minqar, es el registro más cercano al sitio de estudio que sirve de referencia, a continuación se muestran en la tabla 2 y en la figura 25 se muestra una fotografía de uno de los pozos de Abu Minqar (El Tahlawi *et al.*, 2007).

Tabla 2 Características físicas, referentes al Acuífero Nubia, en la parte correspondiente a la comunidad de Farafra

Región del Nuevo Valle Acuífero Nubia	Profundidad de la parte superior del acuífero (m)	Espesor saturado (m)	Profundidad al manto fríasico (m)	Conductividad Hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	Salinidad (ppm)
Oasis de Farafra	200–500	1000–2,000	Flujo superficial	2–5	20–30	<1000



Fig. 24 Uno de los pozos de Abu Minqar, que cuenta con una bomba para la extracción del agua, el color rojo se relaciona a un alto contenido de hierro; el agua es destinada para la agricultura

Un análisis de suelo y agua se llevó a cabo en 2006 por los ingenieros de DDC donde se hizo una evaluación de los 13 pozos y tierras agrícolas adyacentes en Abu Minqar; 44 perfiles de suelo y muestras de agua de cada pozo fueron analizados por Laboratorio de Agua y Suelo del DDC (Soil and Water Testing Laboratory). Las muestras de agua mostraron una buena calidad del agua; adecuado para el riego de todos los cultivos en todo tipo de suelos. Niveles de zinc (Zn), manganeso (Mn), y cobre (Cu) son normales. El contenido de Hierro (Fe) es alto; esto no tiene consecuencias sobre la producción agrícola, pero, posiblemente, en los sistemas de riego. Si es insuficientemente filtrada para el consumo local, el alto contenido de hierro en el agua también puede tener efectos adversos para la salud.

En cuanto al suelo, las texturas reportadas en Abu Minqar son en su mayoría de arena y arena arcillosa. En algunas áreas, el calcio contenido de carbonato es muy alta, lo que puede limitar el cultivo. Los suelos arcillosos tienen un alto porcentaje de saturación, pero las sales solubles totales se registraron como mayormente bajo. A excepción de potasio, los suelos de la zona son pobres en materia orgánica y nutrientes.

Después de la extracción, el recurso es distribuido dentro de la comunidad para el uso doméstico y para los cultivos, los cuales implican un cambio en la calidad original. Esta comunidad es un ejemplo más de la realidad mundial donde el principal uso es la agricultura (~ 75% del agua dulce) de productos alimentarios de consumo humano, para la población en constante aumento y con mayores demandas.

En 2007, según la oficina del gobierno local de Abu Minqar, el oasis reportaba una población total de 4,141 habitantes. Sin embargo, está sujeta a fluctuación continua, con los nuevos migrantes, que van y vienen así como las segundas generaciones y los casamientos, donde a menudo las mujeres se trasladan al lugar de origen del esposo (DDC, 2013)

Usos

Los pobladores de esta zona tienen tierras agrícolas, divididas en trece áreas de riego con mandatos independientes, el suministro total viene de 15 pozos profundos (600 a 1000 m), con una superficie total de cultivo de alrededor de 1680 ha (4,000 feddan). El área denominada, Bir 11, es el área de riego más grande y antigua, la cual corresponde a una superficie de cultivo que asciende a unos 147 ha (350 feddan) (fig. 25) (DDC, 2013)

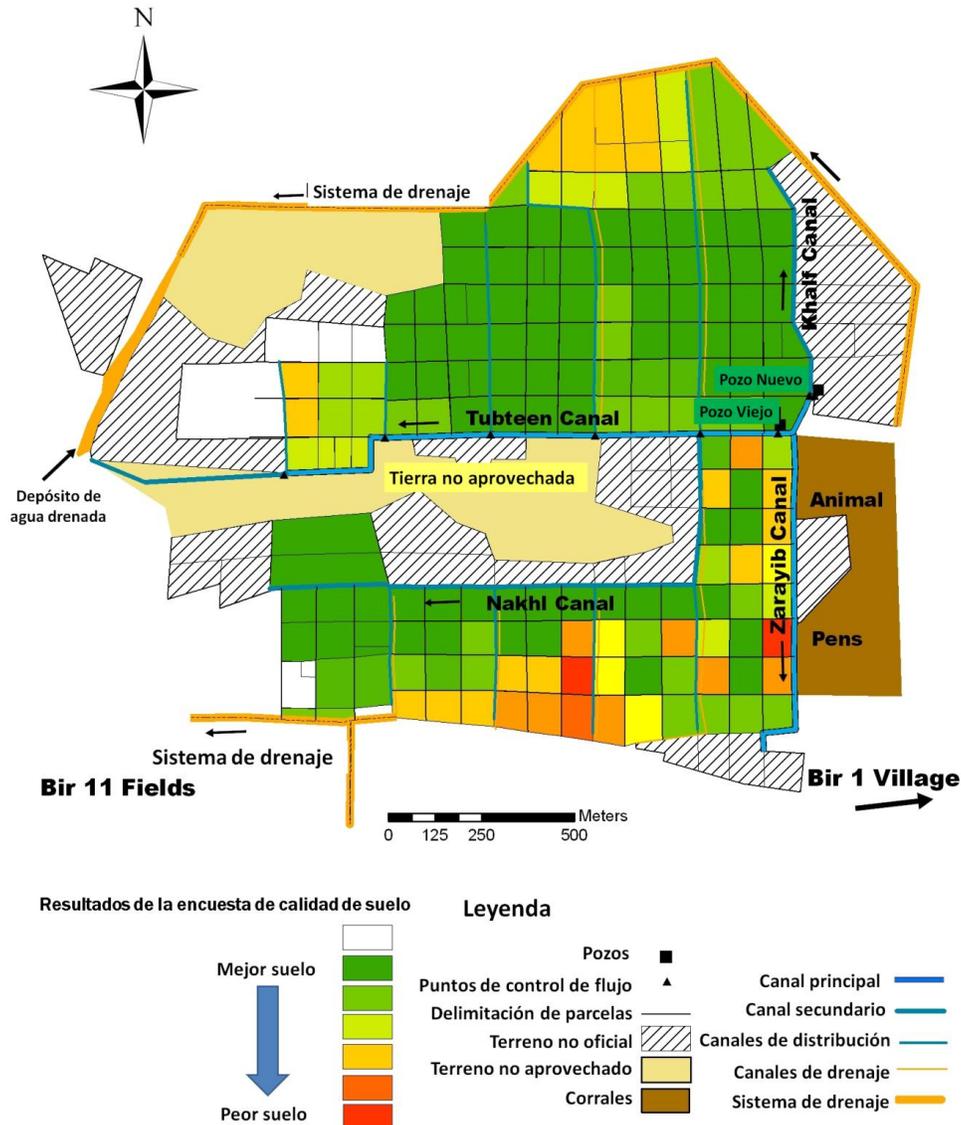


Fig. 25 Mapa obtenido a través del trabajo en campo, siete agricultores de la zona irrigada Bir Wahid completaron mapas en blanco con una ley de la calidad del suelo en cada parcela. Sus respuestas fueron luego cuantificadas y se representan aquí en una escala de gradación. El verde representa la mejor tierra en la opinión de estos agricultores, el rojo lo peor. Regiones blancas no se calificaron por todos los agricultores por lo tanto no pueden ser bien representados

Las actividades económicas más importantes en el oasis de Abu Minqar son la comercialización de los cultivos y del ganado. Otras oportunidades ocupacionales incluyen la ejecución de un taller o trabajar como asistente de tienda, trabajos mecánicos para el mantenimiento de riego y otra infraestructura técnica, el trabajo y el alquiler de la maquinaria agrícola como tractores, y enseñando en una de las tres escuelas locales. Los tipos de cultivos predominantes cultivadas en Abu Minqar identificados a través de entrevistas a los agricultores, los estudios de observación y transectos son, en invierno, trigo, habas, alfalfa y trébol, y en verano, maíz, alfalfa y arroz. Algunos agricultores también cultivan entre temporadas como la sandía, que hace que el ciclo de rotación de cultivos anuales significativamente más complejo. Además, una variedad de otros cultivos a pequeña escala, como los pepinos, calabacín, berenjena, cítricos, uvas,

dátiles cebollas, tomates y ajo se cultivan principalmente para el consumo interno. Uno de los puntos a notar es que el principal método de riego es la inundación de la tierra; los tipos predominantes de cosechas cultivadas se muestran en la tabla 3 (DDC, 2013).

Tabla 3 Tipo de cultivos que se producen en Abu Minqar, dependiendo la temporada, irrigadas con el agua proveniente del Acuífero Nubia.

Temporada	Tipo de cultivo
<i>Invierno</i>	Trigo, habas, alfalfa y trébol
<i>Verano</i>	Maíz, alfalfa y arroz
<i>Entre temporadas (para consumo interno)</i>	Sandía, pepinos, cebollas, ajo, berenjenas, cítricos, tomates, calabacín.

La producción animal es la actividad económica central en Abu Minqar, históricamente debido al ingreso de capital. La ganadería y sus productos se utilizan como bienes domésticos, así como forma de pago. Las pocas oportunidades laborales fuera de la agricultura incluyen el ser propietario de una tienda de abarrotes o trabajar como asistente de una tienda, trabajo mecánico para el mantenimiento de la irrigación y otras obras de infraestructura técnica, trabajo en el alquiler de la maquinaria agrícola como tractores o enseñando en una de las tres escuelas locales (DDC, 2013).

Uno de los mayores problemas percibidos por la población local es la falta de servicios públicos. El oasis todavía no tiene suministro eléctrico permanente; un gran generador en el pueblo principal proporciona electricidad a toda Abu Minqar durante aproximadamente seis horas por la noche y dos horas más por la tarde. El agua corriente de la llave está disponible las 24 horas al día sólo en algunas partes de la comunidad, en los que también se utiliza para el riego de jardines; otros sectores sólo tienen acceso a dos horas de agua corriente al día (DDC, 2013).

Saneamiento

En esta comunidad el agua es un recurso no renovable. A pesar de eso no se cuenta con sistema de drenaje para el uso doméstico, el agua utilizada se bombea al desierto, donde se filtra y se evapora, sin ningún tratamiento. Por otro lado, el agua utilizada para la actividad agrícola tiene un sistema de canales de drenaje que llegan a un depósito del cual no se conoce el volumen exacto, solo se cuenta con la referencia del perímetro (3,066 Km); este depósito lleva aproximadamente 10 años recibiendo agua residual y por su localización geográfica, presenta una tasa de evaporación elevada y esta se acentúa en la temporada de verano por lo que se pierde gran cantidad del líquido a lo largo de los años. Lo único que permanece por concentración y acumulación con la llegada de más agua residual son los agroquímicos residuales, los cuales al llegar al depósito de agua, la hacen más difícil de aprovechar (fig. 26). Cómo es posible apreciar en la foto existen plantas que crecen a estas concentraciones de agroquímicos residuales y de sales, lo que es un indicador de que el agua puede ser viable para limpieza por fitorremediación.

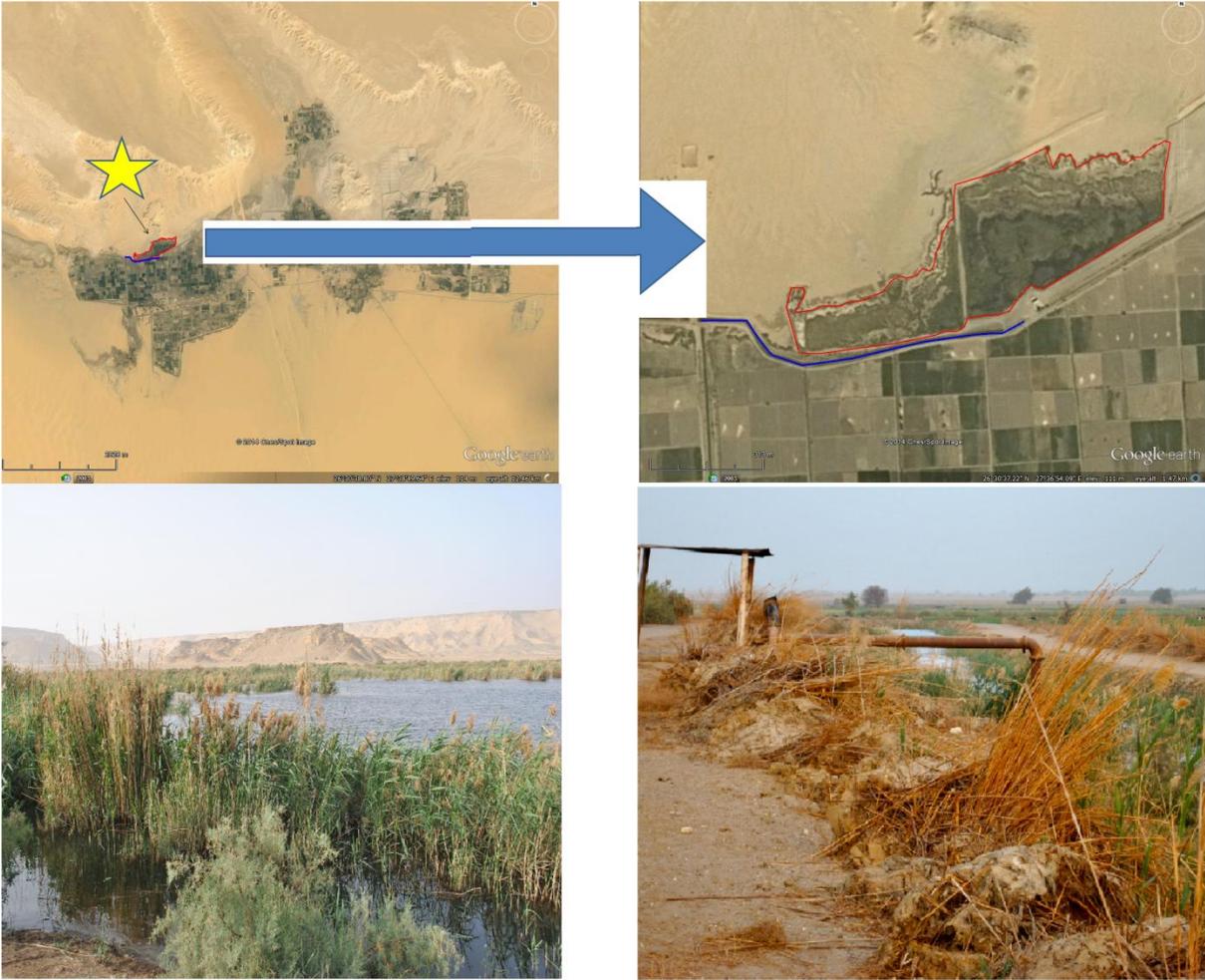


Fig. 26 Mapa de la localidad total señalado con una estrella el depósito de agua (izq.), depósito de agua residual de los cultivos, se encuentra marcado en rojo el perímetro, obtenido mediante marcaje de puntos GPS, (abj.) fotografía del lago y del canal que comunica los cultivos con el depósito final

EL ALBERTO, IXMIQUILPAN EDO. HIDALGO MÉXICO.

El Alberto forma parte del Valle del Mezquital, y se localiza en el municipio de Ixmiquilpan, en el estado de Hidalgo, México. Los indígenas hñahñu (son más conocidos como otomís) fueron los primeros habitantes de la zona, ya que estratégicamente representa un paso importante entre las áridas llanuras del norte de México y los valles fértiles del sur, y aún se mantienen asentados aquí hasta hoy (fig. 27).

Actualmente la comunidad está constituida por 850 personas. Sus actividades económicas son la agricultura, la ganadería de autoconsumo y el turismo, y principalmente las remesas de los familiares emigrados (INEGI, 2010). La situación comúnmente precaria de los pobladores los obliga a migrar en busca de empleo a los Estados Unidos. Su lengua, el Hñahñu u Otomí, es utilizada con frecuencia como un aspecto de reafirmar su identidad cultural (Quezada-Ramirez, 2008).

El Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, tiene una superficie aproximada de 2,200 km² donde habitan 609,437 personas (INEGI, 2010). Las características hidrogeológicas presentan una gran variabilidad de permeabilidad: en las cercanías del Río Tula (hasta 10 km), se señala una permeabilidad alta que permite la presencia de agua subterránea, mientras en zonas lejanas del río, la permeabilidad es de baja a nula (Del Arenal, 1978).

Es una zona semiárida con aporte pluvial bajo (150-250 mm anuales), con una vegetación nativa formada principalmente de matorral xerófilo con una alta variedad de cactáceas entre las que se encuentra la biznaga (genero: *Echinocactus*) y garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), también encontramos huizache (*Acacia farnesiana*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*), nogal (*Juglans regia*), así como sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) y sauce (*Salix* sp.) en las riberas del río, estas dos especies son las más emblemáticas de la región por su identidad al sistema semiárido y permanente al cuerpo de agua que es el río Tula. Actualmente es importante la presencia de la especie oportunista denominada pirul (*Schinus molle*).

Las cuencas hidrológicas del Valle de México y río Tula son una porción de la región hidrológica número 26 Panuco. La cuenca hidrológica del Valle de México es la más dinámica social y económicamente, además de ser la más poblada del país, por lo que reclama y genera una gran cantidad de agua. Las aguas residuales sin tratar son desalojadas a la cuenca hidrológica del río Tula, donde son aprovechadas en su mayoría para el riego agrícola (NOM-001-CONAGUA-200, 2000).



Fig. 27 Localización de El Alberto, agrandado se observa el estado de Hidalgo, se señala El Alberto; (der.) Vista Aerea del sitio de estudio.

Abastecimiento

La única fuente de agua que tenía el Valle del Mezquital era el río Tula. Hasta 1637 cuando se comenzó la construcción de un canal abierto que desalojara el agua residual de la Ciudad de México, ya que el Valle de México es una cuenca endorreica (cerrada) y existían problemas de inundación importantes. Este canal comenzó su operación en 1789 y el agua fue canalizada. Pero el Valle de México continuó su crecimiento alcanzando una población creciente de 22 millones de habitantes y que además concentra gran parte de la actividad industrial, comercial y política de país. Son estas características que intervienen en la problemática del agua con una creciente dificultad de satisfacer la demanda, así como un sistema de gran complejidad para desalojar las aguas negras y pluviales (Jimenez & Masari , 2004)

Se debe destacar que para que la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) logre alcanzar un abasto total del agua potable que necesita para su vida diaria, que es de entre 63 a 72 m³/s, requiere un aporte extra de agua proveniente de otros sistemas de cuencas vecinos al de la cuenca del Valle de México. Es así que el sistema Cutzamala provee al sistema de agua potable de la ZMVM 14.9 m³/s, exportados a la cuenca del valle de México desde la Cuenca del Balsas (CONAGUA, 2012). Es de este modo que un porcentaje del agua que arriba al Valle del Mezquital a través del río Tula, ha sido importado desde otros ecosistemas.

Existen en la actualidad tres salidas principales del agua residual de la cuenca del Valle de México, Emisor Central, el Interceptor Poniente y el Gran Canal, todos ellos desembocan en la cuenca del río Tula. A lo largo de sus afluentes y cuando ya se convierten todos en un caudal, el río Tula, existen aún otras descargas de tipo industrial y municipal que aumentan los aportes de contaminación. De 1947 a 1952 fue construida la presa Endhó cerca de la ciudad de Tula: esta presa recibía el agua del río Tula y de escorrentía; en sus inicios era posible hacer actividades recreativas como la pesca y deportes acuáticos. En 1976 durante el sexenio de Luis Echeverría Álvarez, cuando Octavio Senties Gómez era jefe del

Departamento del Distrito Federal, se decidió almacenar agua residual del Valle de México en la presa, provocando su degradación ambiental por contaminación con aguas residuales municipales e industriales, causando la muerte de muchos organismos acuáticos y afectando a los no acuáticos, y acabando con el incipiente turismo, convirtiéndose en un problema ambiental. Hoy en día a la presa llegan 3,456 millones de litros de agua negra diariamente, esta presa abarca 1,026 ha y tiene capacidad para almacenar hasta un millón 198,000 m³ de agua. Además de los contaminantes disueltos en el agua, es posible apreciar una gran variedad de residuos sólidos que se van por el desagüe del valle de México y el Distrito Federal hasta el río Tula y a sus afluentes en el estado de Hidalgo (COMDA, 2014).

RÍO TULA

La fuente más antigua de abastecimiento de agua que tenía el Valle del Mezquital y por lo tanto de la comunidad “El Alberto” en la misma década de la construcción de la presa Endhó fue objeto de un plan gubernamental dirigido a impulsar el desarrollo de la región mediante la expansión del riego de cultivos con agua negra altamente contaminada y sin ningún tratamiento, se reportó que los beneficios generados por el incremento del caudal de aguas negras no fueron equitativos, sino que un grupo de agricultores acaparó no sólo el control de las tierras sino también la gestión del nuevo recurso hidráulico. Lo que queda claro es que las aguas negras han constituido quizá el recurso económico dinamizador más importante en una región semiárida, al grado de generar disputas entre grupos sociales por su control (Perló-Cohen, 2005).

El Valle del Mezquital recibe aproximadamente 50 m³/s de agua residual no tratada para el riego de alrededor de 45,214 ha. Se determinó que el 81% de los canales principales y el 52% de los canales laterales no se encuentran revestidos y parte del agua residual que conducen, recarga directamente al acuífero. Actualmente continua haciendo la principal entrada de agua al acuífero del Valle del Mezquital, la cual corresponde también a la infiltración a través de canales y retornos de riego provenientes de la Ciudad de México, a través del Gran Canal del Desagüe, Interceptor Poniente y Emisor Central con un Índice de Calidad de Agua de 4, es decir agua muy contaminada; representa un ejemplo de recarga de acuífero con agua de mala calidad (Lesser-Carrillo *et al.*, 2011); (CONAGUA, 2010). Esto conlleva a muchos problemas ambientales y de salud humana, por ello se encuentra ya en construcción la megaplanta de tratamiento de agua en Atotonilco (PTAR-A) y el Túnel Emisor Oriente (TEO), mediante los cuales se tratará 60% del agua que llega del Valle de México incluyendo la capital del país y es considerado el complejo hidráulico más grande de América Latina (CONAGUA, 2010).

Las autoridades federales ponderan que la planta PTAR-A –con una inversión de 10,128 millones de pesos, mejorará las condiciones de salud de 700 mil habitantes del Valle del Mezquital, afectados por la contaminación que producen las aguas negras, e impulsará la siembra de cultivos de mayor plusvalía en los distritos de riego 003 de Tula y 100 de Alfajayucan. Se prevé que esté lista, con sus dos procesos, químico y convencional, en febrero de 2015 (Muñoz, 2014).

Las condiciones actuales son muy críticas en términos ambientales y de salud pública, por el continuo contacto directo a contaminantes, así como consumidores de los vegetales irrigados con esta agua. Esta situación involucra además de cuerpos de agua superficial y subterránea, la restricción productiva de cultivos, así como daños a la salud de la población rural asentada en las zonas de riego beneficiadas, la cual presenta altos índices de infección parasitaria (NOM-SEMARNAT-1996, 1997) (EPA, 1996) (Cifuentes *et al*, 1994). En la siguiente tabla (Tabla 3), se presentan los beneficios de la presencia del río Tula y desventajas ambientales de ser un cuerpo receptor de aguas negras en la comunidad El Alberto.

Tabla 4 Beneficios y problemática actual de la interacción Río Tula- Alberto.

Beneficios para la comunidad	Problemática Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> - Afluente permanente todo el año (722.3 Mm3/año durante lluvias y 542.9 Mm3/año en estiaje) - Explotación turística - Organización e integración social, empleo - Refuerzo de identidad y arraigo - Procesos de atenuación natural (Sistemas de humedal) - Herencia cultural en las próximas generaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación y degradación del recurso acuático y suelo - Importación de contaminantes - Sistema de desagüe deficiente e insuficiente - Riesgo de contaminación del acuífero alto, debido a la falta de pre-tratamiento del agua residual recargada



Fig. 28 Curso del Río Tula con afluentes y efluentes (al centro) El Alberto señalado con un triángulo naranja (Img.modificada de Lesser-Carrillo, *et al.*, 2011). Alrededor fotos ilustrativas de El Alberto, manantiales, ganado, Gran cañón y canales de riego

CANALES DE RIEGO

El Alberto se localiza dentro del Distrito de Riego 03 Tula. Esta agua negra es altamente valorada por los agricultores debido a su alta carga de nutrientes; desafortunadamente el agua no sólo contiene nutrientes sino que se encuentra altamente contaminada con microorganismos patógenos y parásitos, así como sustancias químicas tóxicas que constituyen un riesgo para los agricultores y consumidores de lo producido en estas tierras (Romero-Álvarez, 1997).

En el año 1993, se pusieron en vigor una serie de regulaciones legales e institucionales como respuesta a la problemática, como la Ley de Aguas Nacionales, que tiene una sección específica de la prevención y control de la contaminación del agua, además de la Norma Mexicana 001, las Normas Técnicas Ecológicas 32 y 33 que establecen los requerimientos para el uso de agua residual para el riego agrícola; la CONAGUA ha aplicado también restricciones de riego con agua residual a productos de consumo crudo, debido a la propagación de cólera. Sin embargo, esta modificación causó un conflicto social, ya que los agricultores se vieron perjudicados en sus ingresos, pero se logró reducir en un porcentaje significativo los casos de cólera (Cifuentes *et al.*, 1994).

MANANTIALES

El agua importada proveniente de los canales de riego, como su nombre lo dice, se usa para la agricultura según las especificaciones de la NOM-001-SEMARNAT-1996. En cuanto a la fuente local de agua de manantiales, se extrae en siete puntos y se ocupa para uso doméstico, turístico y de alimentación según la NOM-127-SSA1-1994.

En este contexto, El Alberto es un ejemplo más de como las comunidades aledañas al río Tula, que a pesar de este escenario obtuvieron beneficios, ya que este aporte continuo y extra de agua permitió reverdecer el paisaje antes semidesértico y la activación del campo. El Valle de Mezquital era una de las regiones más pobres del país en donde la migración se consideraba como la solución más viable para sobrevivir. El fenómeno de la migración aún es considerable. Sin embargo cuando esta zona empezó a sufrir cambios en el paisaje y permitir otra alternativa para los habitantes gracias a la tipología del suelo con alta permeabilidad (principalmente arenas donde la filtración del agua es rápida y permite la existencia de un acuífero superficial con el paso del tiempo). Esta recarga del acuífero dio origen a una serie de manantiales termales y no termales, y permitió a este sitio contar con más de una calidad de agua disponible (agua del río Tula, agua negra de los canales de riego y agua de manantiales); por lo tanto posee un abanico más amplio de uso.

El balance hídrico del acuífero presente en el Valle del Mezquital, se estimó en 2007 y se obtuvieron los siguientes valores: la entrada subterránea es de 10.6 Mm³/año, la infiltración de 106 Mm³/año la extracción alcanza 97.7 Mm³/año, las salidas subterráneas 71.7 Mm³/año y por último la evapotranspiración corresponde a 6.1 Mm³/año (Lesser-Carrillo *et al.*, 2011).

El Alberto se localiza en la parte norte del acuífero, donde la profundidad del nivel estático del acuífero se encuentra de 0 a 5 m que de acuerdo a los estudios de cálculo de la disponibilidad de agua subterránea de varios acuíferos (CONAGUA, 2009), cuando el nivel se encuentra a 5 m de profundidad, el efecto de evapotranspiración se reduce al 50% y cuando se encuentra cerca de la superficie es del 100%, por lo que en esta zona la evapotranspiración es del 75% (355 mm) (Lesser-Carrillo *et al*, 2011).

Usos

La comunidad cuenta con un proyecto ecoturístico llamado “Parque EcoAlberto”, en el cual se llevan actividades de recreación acuática, una de ellas como el kayakismo la cual se desempeña en el Rio Tula en la sección que llaman “Gran Cañon” y la presencia de albercas en la sección del “Parque Acuático”, donde se cuenta con una serie de albercas con agua termal (38-40°C), así como servicio de regaderas, sanitarios y áreas verdes. Además uno de los siete manantiales sostiene un proyecto social en colaboración con *Bonafont* que produce agua embotellada, la cual se vende en las comunidades aledañas aparte de abastecer a los albertanos (fig. 29).

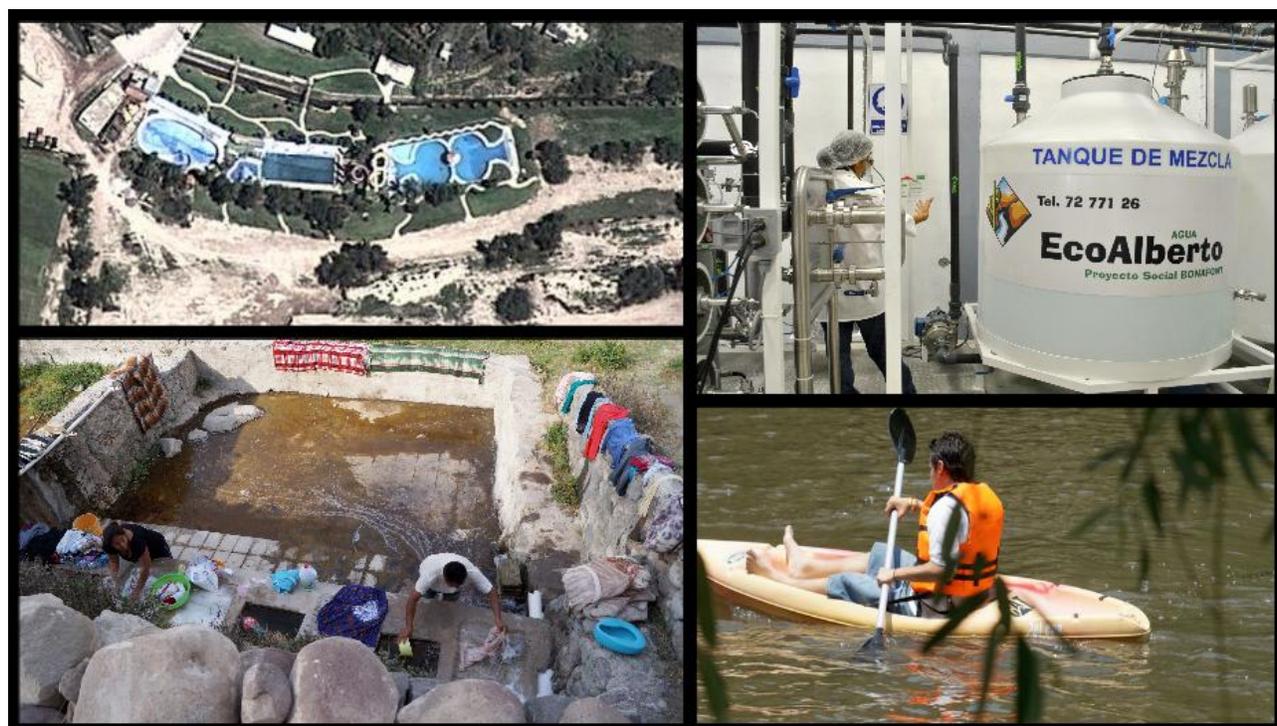


Fig. 29 Diferentes usos de los recursos acuáticos disponibles en la comunidad, de izquierda a derecha, esta una vista aérea del balneario a continuación un tanque de mezcla perteneciente a la Planta Purificadora, en la parte inferior los lavaderos comunales y un turista practicando Kayac.

Saneamiento

A pesar de los programas nacionales que promueven las implantación de alcantarillado público (NOM-002-SEMARNAT-1996) y distribución del agua potable, la mayor parte de la población de El Alberto no cuenta con este servicio y la otra facción se encuentra conectada a un sistema de alcantarillado deficiente y que

ha sido rebasado en su capacidad funcional, que tiene fugas y que además debido al uso turístico encontramos dos tipos de descargas (fig. 30).

Esta situación conlleva a incrementar la contaminación del agua, al grado de encontrarse por arriba de los límites permitidos que establece la SEMARNAT en la NOM-002 en la descarga de agua residual en bienes nacionales, en este caso el río Tula y el acuífero. Esto sin considerar los más recientes lineamientos en la literatura científica en materia de contaminantes y aun no actualizados en nuestra normatividad, los denominados contaminantes emergentes.



Fig. 30 Se muestran los dos tipos de descarga presentes (arriba y abajo; lqz.), y dos detalles del sistema de alcantarillado que está fuera de las capacidades de funcionamiento correcto y las ruptura de la estructura que implica contaminación directa.

Materiales y método

Campo

Selección de sitios de muestreo

En la visita prospectiva en Abu Minqar se identificaron los distintos puntos de ubicación de los pozos, la red de canales del agua destinada para la agricultura y otros usos locales como limpieza. Se estableció que el agua no tiene un uso alimenticio; a causa del alto contenido de hierro y porque la comunidad no cuenta con una potabilizadora. El agua potable calidad alimenticia, se importa del Oasis de Farafra, la cual se ubica a 40 km de distancia y treinta minutos aproximados en carretera. A partir de esta visita se estableció el origen del agua, la distribución y destino final, y permitió también plantear el diseño de muestreo.

En el caso de Abu Minqar es importante enfatizar que la única fuente de abastecimiento es el Acuífero Nubia, fuente de agua fósil con tiempos de recarga estimados en millones de años.

La comunidad de El Alberto se alimenta de agua del Río Tula y este mantiene todo el año los manantiales con agua en flujo continuo. Se establecieron como puntos para muestreo seis manantiales; cinco puntos a lo largo del río dentro de los límites de la comunidad; y finalmente, se establecieron las líneas de alcantarillado y fosas sépticas con las que cuenta la comunidad. En cuanto a los usos se puede mencionar que los manantiales proveen principalmente de agua potable a la comunidad (posee una potabilizadora de agua, que exporta agua embotellada a la región), actividad turística y agrícola. El río se aprovecha también para actividades turísticas y como receptor de descargas de agua residual. No hay que olvidar que la región donde se ubica El Alberto, el caudal actual del río Tula depende principalmente del aporte de agua residual proveniente de ZMVM.

Los sitios elegidos para muestreo en cada comunidad se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Puntos de muestreo en cada localidad.

Abu Minqar	El Alberto
Pozos (15 puntos)	Manantiales (6 puntos)
Canal de drenaje de las parcelas (1 punto)	Río (5 puntos)
Depósito de agua residual (3 puntos)	Drenaje de la comunidad (4 puntos)

Toma de muestras y medición de parámetros *in situ*

En ambas comunidades, se recolectaron en envases Kartell estériles, un litro de agua para los análisis posteriores en laboratorio; se tomaron tres réplicas en cada sitio. En el caso del agua residual doméstica, en El Alberto se hicieron muestras compuestas en un periodo de 24 h, con muestreo de cada 4 h.

In situ se usó una sonda sumergible de multiparamétrica Hach 5465011 Sension 156 (pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Oxígeno Disuelto). Se hizo un mapeo de la red de drenaje y la localización de los puntos de muestro y abastecimiento usando un GPS GARMIN portátil.

En el aspecto social, en ambas comunidades hubo una observación participativa con los miembros de la comunidad, se aplicaron encuestas a los pobladores de la comunidad (anexo) para obtener información sobre el estado del abasteciendo, saneamiento y cultura del agua.

Laboratorio

Análisis en laboratorio

Al tratarse de diferentes calidades de agua y de diferentes propósitos de uso, se tomaron los mismos parámetros *in situ*. En laboratorio se hizo un análisis específico para cada calidad, según la normativa y protocolos, de la normatividad mexicana y egipcia vigente y se hicieron tres réplicas de las tres réplicas tomadas en campo.

En el caso de las muestra de Abu Minqar todas se analizaron en el Laboratorio perteneciente al Centro de Desarrollo del Desierto de la Universidad Americana del Cairo “*DDC Soil and Water Testing Laboratory*” en el caso de las muestras tomada en El Alberto, las pruebas correspondientes a pruebas Coliformes Fecales, Huevos de Helmintos, Plaguicidas y Carbono Orgánico Total estuvieron a cargo del Laboratorio acreditado IDECA SA. de CV, el resto de los parámetros se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental, del Instituto de Ingeniería con equipo y test kits HACH.

Abu Minqar

El agua residual de Abu Minqar se caracteriza por ser 100% agua proveniente de un uso agrícola, porque no existe una red de drenaje del uso doméstico. El problema de contaminación son los residuos de fertilizantes que se concentran en el suelo, debido a la alta tasa de evaporación (cuatro veces mayor) a 50°C. Ante esta situación es necesario medir algunos parámetros en suelo (Tabla 6)

Tabla 6 Parámetros evaluados para la matriz agua tanto en la fuente de abastecimiento como el saneamiento, también se evaluó el suelo donde se planea hacer uso agrícola, Abu Minqar, Egipto

Agua	Suelo
- pH	- pH
- Conductividad Eléctrica	- Conductividad Eléctrica
- SAR (Sodium Adsorption Ratio)	- SAR (Sodium Adsorption Ratio)
- Sales Solubles	- Sales Solubles
(Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)	(Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)
- Sales Disueltas Totales	- Sales Disueltas Totales
- Distribución del tamaño de las partículas	- Distribución del tamaño de las partículas
Textura	Textura
- Porcentaje de Grava	- Porcentaje de Grava
- Porcentaje de Saturación	- Porcentaje de Saturación
- Porcentaje de Materia Orgánica	- Porcentaje de Materia Orgánica
- Niveles disponibles de Nutrientes (P ⁺ , K ⁺ , Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺)	- Niveles disponibles de Nutrientes (P ⁺ , K ⁺ , Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺)
- Porcentaje de CaCO ₃	- Porcentaje de CaCO ₃

El Alberto

Con el propósito de obtener datos acordes a los evaluados en las normativas correspondientes dependiendo el uso y de calidad del agua, se tomaron se muestran a continuación los análisis realizados para agua potable, bien nacional y agua residual (Tabla 7).

Tabla 7 Parámetros evaluados en los manantiales (abastecimiento), río (bien nacional) y drenaje (saneamiento), dependiendo el tipo de uso.

Manantiales	Río	Drenaje
	pH	
	Temperatura	
	Conductividad	
	Oxígeno Disuelto (OD)	
	Salinidad	
	Coliformes Fecales	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	Amonio (NH ₄ ⁺)	Amonio (NH ₄ ⁺)
Nitrógeno Total (N-Total)	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Sólidos Suspendidos Totales (SST)
Huevos de Helmintho	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sólidos Disueltos Totales (SDT)
Carbono Orgánico Total	Sólidos Totales(ST)	Sólidos Totales (ST)
Plaguicidas	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Biológica de Oxígeno (DQO)
	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	Demanda Química de Oxígeno (DBO ₅)
		Flujo

Análisis estadísticos

Se utilizó el programa “Primer 6”, para hacer el análisis de todos los datos obtenidos en ambas comunidades, primero se analizaron de manera interna, tomando en cuenta las réplicas, para la obtención

de los valores finales a considerar, para la caracterización de cada comunidad y después para el confronto entre ambas.

Estadísticamente se realizó una transformación general de $(\log x+1)$, y después se normalizaron los datos (los valores medios), para al final poder hacer un análisis multifactorial del componente principal (PCA, por sus siglas en inglés).

Se tomaron en cuenta los primeros dos análisis PC1 y PC2, tomando en todos los casos un porcentaje de significancia estadística mayor al 70%. Estos análisis permiten conocer cuáles son los parámetros cuantificados que tienen mayor influencia en cada muestra.

En alguno de los casos se hizo análisis ANOVA para conocer la significancia de la diferencia entre los resultados.

Resultados y Discusión

ABU MINQAR, EGIPTO

Localización geográfica de los pozos y depósito superficial de agua residual.

En el siguiente mapa (Figura 31) están marcados las ubicaciones de los 15 pozos presentes en la comunidad (extracción), de los cuales los 5 que tienen el símbolo: ) son pozos con bomba, con un horario de servicio de 6 horas al día. En base a estudios anteriores realizados por *Desert Development Center* (DDC) de la Universidad Americana del Cairo (AUC por sus siglas en inglés), en 2007, se determinó que el agua de todos los pozos proviene de la misma fuente (Acuífero de arenisca de Nubia) y que la calidad es siempre la misma.

Todas las parcelas tienen canales de drenaje, que guían el excedente no filtrado de las parcelas hacia el depósito de agua residual anteriormente mencionado.



Fig. 31 Fotografía aérea del Oasis de Abu Minqar, señalados los puntos de abastecimiento, el canal de agua de drenaje de las parcelas principales y el depósito final de agua residual agrícola.

Previo al establecimiento de la comunidad, el territorio no contaba con vegetación nativa por la falta del aporte hídrico. Actualmente, se puede observar el crecimiento de vegetación arvense y ruderal. Sin embargo, la distribución de la vegetación se ve limitada al aporte artificial de agua, por lo que su expansión y crecimiento es bastante localizado. Al ser toda la flora introducida, su sola presencia es un indicador de perturbación por la actividad humana.

A continuación se muestra en la figura 32, un diagrama donde se hace la representación del ciclo de agua actual en Abu Minqar. Hay que destacar que para los años 50, este diagrama no era posible porque Abu Minqar era un desierto de arenas, en el cual a partir del año 1960, con la construcción del primer pozo, este diagrama se fue conformando.

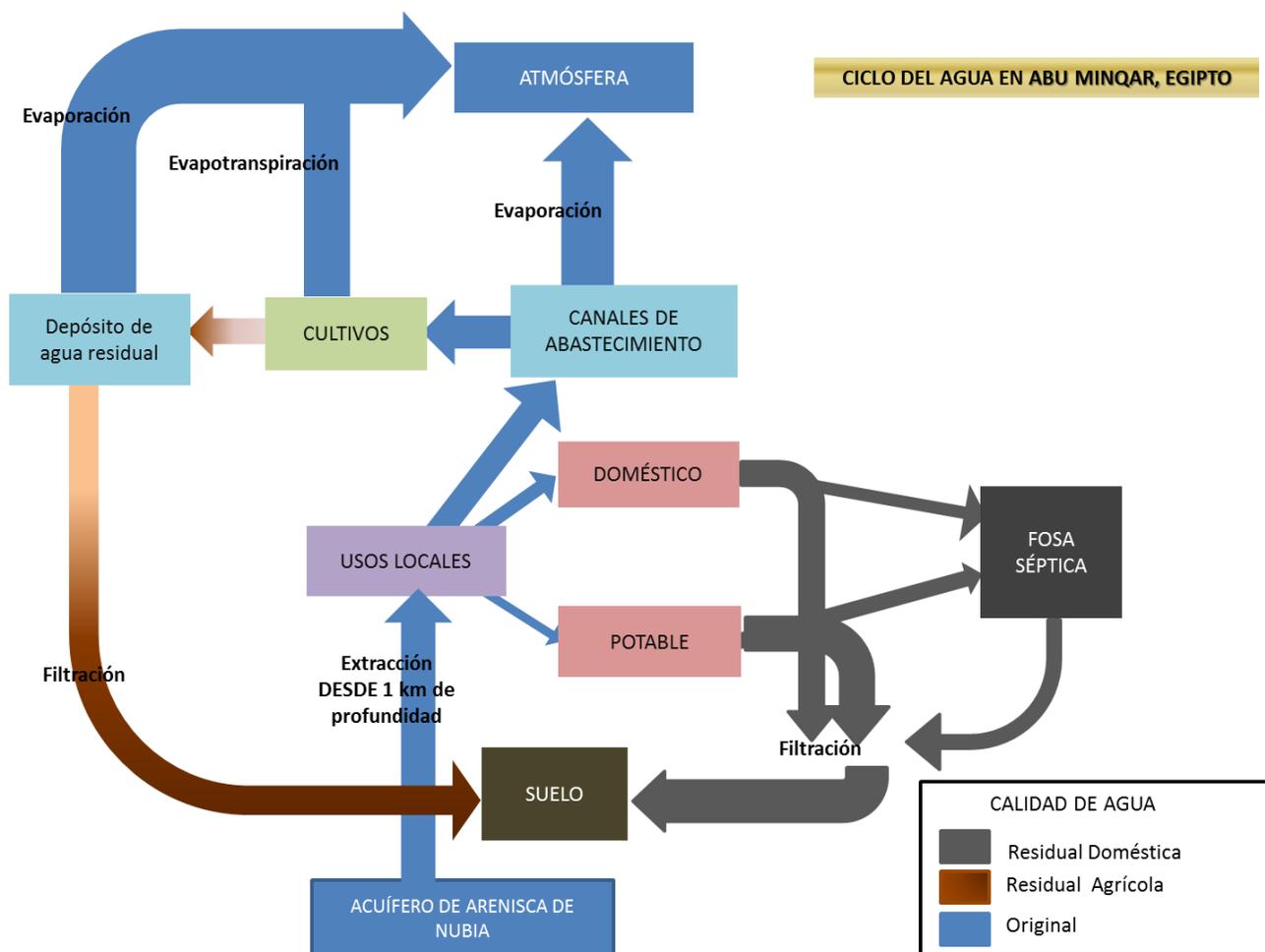


Fig. 32 Ciclo del Agua, en el Oasis de Abu Minqar, la mayor parte del recurso extraído se evapora. (El ancho de las flechas se relaciona con su importancia de manera cualitativa).

Caracterización fisicoquímica y biológica del agua de abastecimiento

A continuación se muestran en la tabla 8, los parámetros fisicoquímicos y biológicos que se analizaron para determinación de la calidad de agua para irrigación y se muestran también los valores reconocidos por la FAO, como referencia para uso restringido del recurso hídrico.

Tabla 8 Resultados obtenidos para los parámetros cuantificados en el pozo 15 del agua proveniente del Acuífero Nubia, en Abu Minqar, Egipto.

Parámetros	Pozo 15	Grado de restricción para uso agrícola (Agriculture and Consumer Protection, FAO)		
		Ninguna	Poco a Moderado	Severo
pH	8.31	6.5 a 7	-	-
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.79	< 0.7	0.7 a 3.0	> 3.0
SAR	2.2	> 0.7	0.7 a 0.2	< 0.2
SDT	506	< 450	450 – 2000	> 2000
Ca ²⁺	44	0 - 400	-	-
Mg ²⁺	21.6	0 – 60.8	-	-
Na ⁺	71.3	< 70	>70	-
K ⁺	15.6	0 - 2	-	-
Cl ⁻	189	< 100	>100	-
CO ₃ ⁻	0	0-1	-	-
HCO ₃ ⁻	122	< 90	90 – 500	> 500
SO ₄ ²⁻	9.6	0 - 960	=	-
Fe ²⁺	0.04	0	-	-
Zn ²⁺	0	0	-	-
Mn ²⁺	0.21	0	-	-
Cu ²⁺	0.03	0	-	-

*SAR: Relación de Absorción de Sodio, SDT: Sólidos Disueltos Totales

Pozos con bomba



Pozos artesanales



La agricultura depende de un suministro en cantidad y en calidad adecuado para cada especie cultivable, por lo que caracterizar la calidad del agua es importante para conocer su efecto en el suelo y los cultivos. Interpretando los parámetros evaluados, se puede decir que el agua se encuentra dentro de la categoría de “poco a moderada” establecida por la FAO que se muestra en la tabla anterior. Esta clasificación ha sido útil pero es sólo un referente porque existe una amplia variedad de parámetros de campo (suelo y clima) que influyen sobre las especies de interés agrícola. Sin embargo, es un buen referente inicial actualmente vigente, para cultivos no halófitos y de importancia comercial como, es el caso de los cultivos principales de Abu Minqar. Sin embargo, las sales presentes en el agua y el suelo (evaporación y concentración) reducen la disponibilidad de la misma para el cultivo de tal manera que el rendimiento se ve afectado. A esto, hay que sumar la tasa de infiltración de agua y la toxicidad relacionada con el uso de fertilizantes (Ayers and Westcot, 1994). Conocer la calidad del agua no es suficiente porque las dificultades de manejo varían también en función de la habilidad y del conocimiento del usuario en gestión del agua.

En Abu Minqar, los principales cultivos producidos son los forrajeros (alfalfa y trébol) además de granos como trigo y maíz; en la tabla 9 se muestran la concentración mínima y máxima de tolerancia a sales disueltas en el agua suministrada de estos cultivos.

Tabla 9 Categoría de tolerancia a las sales de los cultivos principales de Abu Minqar

Nombre Común	Especie	Tolerancia basada en	Parámetros de tolerancia a sales (EC_e)*			Referencia
			Mínimo	Máximo	Clase*	
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L.	Crecimiento	2.0	7.3	MS	Hoffman <i>et al.</i> , 1975
Maíz	<i>Zea mays</i> L.	Crecimiento de la espiga	1.7	12	MS	Kaddah & Ghowail, 1964
Trébol	<i>T. alexandrinum</i> L.	Crecimiento	1.5	5.7	MS	Ravikovitch & Yoles, 1971
Trigo	<i>T. turgidum</i> L. var. <i>Durum</i> Desf.	Rendimiento de grano	3.8	5.9	T	Francois <i>et al.</i> , 1986

*Clases de tolerancia relativas a la sales de los cultivos agrícolas. Categorías: Sensible (S) Moderadamente sensible (MS), Moderadamente Tolerante (MT) y Tolerante (T) (Mass, Donovan, & Francois, 1988) EC_e : Conductividad eléctrica del extracto externo.

Se puede apreciar que todos los cultivos se encuentran dentro de la categoría de Moderadamente Sensibles, por lo que soportan las características del agua del Acuífero Nubia.

Caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual

El origen del agua residual en el caso de Abu Minqar proviene solamente del uso agrícola. Ya que no existe un sistema de drenaje que recolecte el agua proveniente del uso doméstico. En la tabla 10, se muestran los resultados de los parámetros evaluados confrontados con la clasificación propuesta por la FAO para uso agrícola.

Tabla 10 Caracterización fisicoquímica de agua residual de uso agrícola en 2 puntos: canal de drenaje y el depósito, donde se tomaron diferentes profundidades; en Abu Minqar, Egipto.

Parámetros	Canal de agua residual de las parcelas principales	Depósito			Grado de restricción para uso agrícola (Agriculture and Consumer Protection, FAO)		
					Ninguna	Poco a Moderado	Severo
		Superficie	1m de prof.	2 m de prof.			
pH	8.36	8.53	8.49	8.19	6.5 a 7	-	-
Conductividad Eléctrica (dS/m)	5.28	6.1	6.39	8.91	< 0.7	0.7 a 3.0	> 3.0
SAR *	11.1	11.2	13	20	> 0.7	0.7 a 0.2	<0.2
SDT *	3379	3904	4090	12102	< 450	450 – 2000	>2000
Ca ²⁺	230	290	300	840	0 - 400	-	
Mg ²⁺	144	120	78	456	0 – 60.8	-	
Na ⁺	874	899.3	979.8	2909.5	<70	>70	
K ⁺	23.4	31.2	35.1	93.6	-	-	
Cl ⁻	1575	1855	1977.5	6650	< 100	>100	
CO ₃ ⁻	0	0	0	0	0-1	-	
HCO ₃ ⁻	274.5	305	427	976	<90	90 – 500	>500
SO ₄ ²⁻	1209.6	614	144	278.4	0 - 960	=	
Fe ²⁺	0	0	0.03	0	0.21	-	
Zn ²⁺	0.01	0.02	0.01	0.02	0.06	-	
Mn ²⁺	0.02	0	0	2.35	0.068	-	
Cu ²⁺	0.02	0.03	0.06	0.04	0.04	-	

* SAR: Relación de Absorción de Sodio, SDT: Sólidos Disueltos Totales; en rojo se denotan los valores que se encuentran en la categoría de Severo, para la FAO.

Como se observa en la tabla anterior, el valor de los parámetros medidos aumenta de manera importante con respecto a los pozos de extracción. La conductividad eléctrica, que en todos los puntos muestreados ya se encuentra en la clasificación de severo y se incrementa de manera exacerbada a los 2 m de profundidad, consiguiendo un valor de 8.91 dS/m (que ningún tipo de cultivo tolera).

Ocurre algo similar con los sólidos disueltos totales, que representa la sumatoria de todas las sales disueltas. Cuando se observa uno a uno los iones, son sodio y cloro, los que se reportan dentro de la clasificación de severo (Harivandi, 1999). Esto se debe a que en un clima árido, la acumulación es más rápida debido a la alta tasa de evaporación; esto provoca problemas de toxicidad cuando son absorbidos por la planta, mermando la óptima producción agrícola (Ayers and Westcot, 1994).

El análisis estadístico evaluó todos los parámetros tomados en campo, así como los resultados del laboratorio y todos se agrupan en “Componentes Principales” de la totalidad de las muestras analizadas (extracción y agua residual). Estos componentes principales son aquellos que agrupan al conjunto de muestras alrededor de un parámetro. Esto nos sirve para conocer cuáles de los parámetros evaluados nos dan una diferencia significativa para agrupar o discriminar las muestras. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 11.

Tabla 11 Resultados del análisis de componentes principales (CP) del agua de Abu Minqar; se muestran los parámetros principales que varían menos, antes y después de su uso.

Variable	Componentes principales (1)	Componentes principales (2)
pH		0.45
SDT*	0.31	
Ca ²⁺	0.31	
Cl ⁻	0.31	
SO ₄ ²⁻		0.49
Mn ²⁺		0.45

*SDT: Sólidos disueltos totales

Los resultados obtenidos en el primer análisis marcan que los sólidos disueltos totales, calcio y cloro, son aquellos componentes que presentan menos variaciones entre todas las muestras; en el segundo análisis (columna 2), es sulfato seguido del pH y magnesio los parámetros similares.

La representación gráfica de este análisis estadístico con todos los parámetros analizados se muestra en el siguiente gráfico (Figura 33). La muestra que se encuentra más alejada es aquella proveniente del pozo, las muestras del canal y de la superficie del depósito se encuentran muy cerca: esto quiere decir que la calidad del agua en los parámetros medidos, es muy parecida. El agua a mayor profundidad es el punto que se encuentra más cercano a todos los parámetros, ya que es el que presenta los valores más elevados y se separa del resto de las muestras.

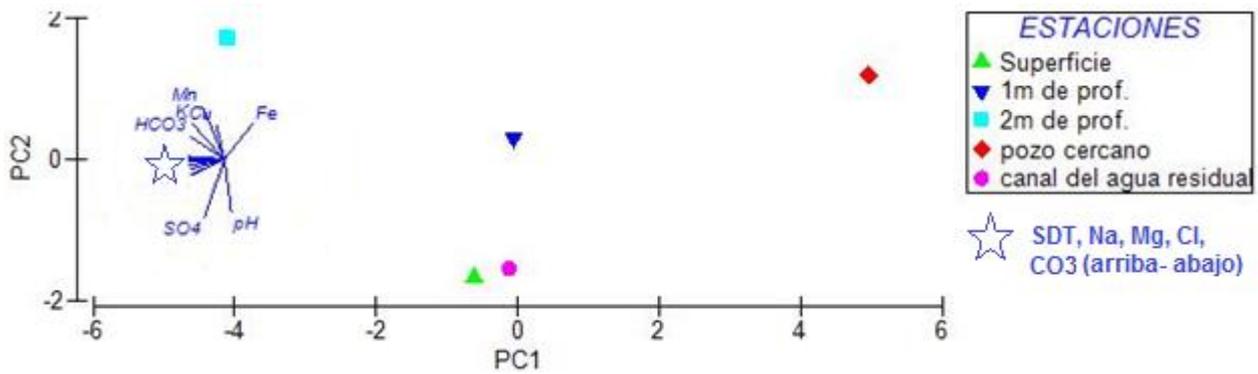


Fig. 33 Representación gráfica del análisis de componentes principales, para los cinco puntos caracterizados en Abu Minqar, Egipto.

EL ALBERTO, HIDALGO, MEXICO

Localización geográfica de los manantiales, puntos muestreados en el río Tula y efluentes de las fosas sépticas.

A continuación en la figura 34, se muestra el mapa de la comunidad con los manantiales presentes, los puntos muestreados en el río Tula, los cuales fueron designados a la entrada del río a El Alberto (para obtener la calidad con la cual la comunidad recibe el agua), y después se seleccionaron tres puntos intermedios cercanos a las descargas de agua residual de la comunidad. Por último se designó un punto en la frontera norte del río del límite con la comunidad vecina, para conocer el efecto de la comunidad al río y la eficiencia del sistema de saneamiento.

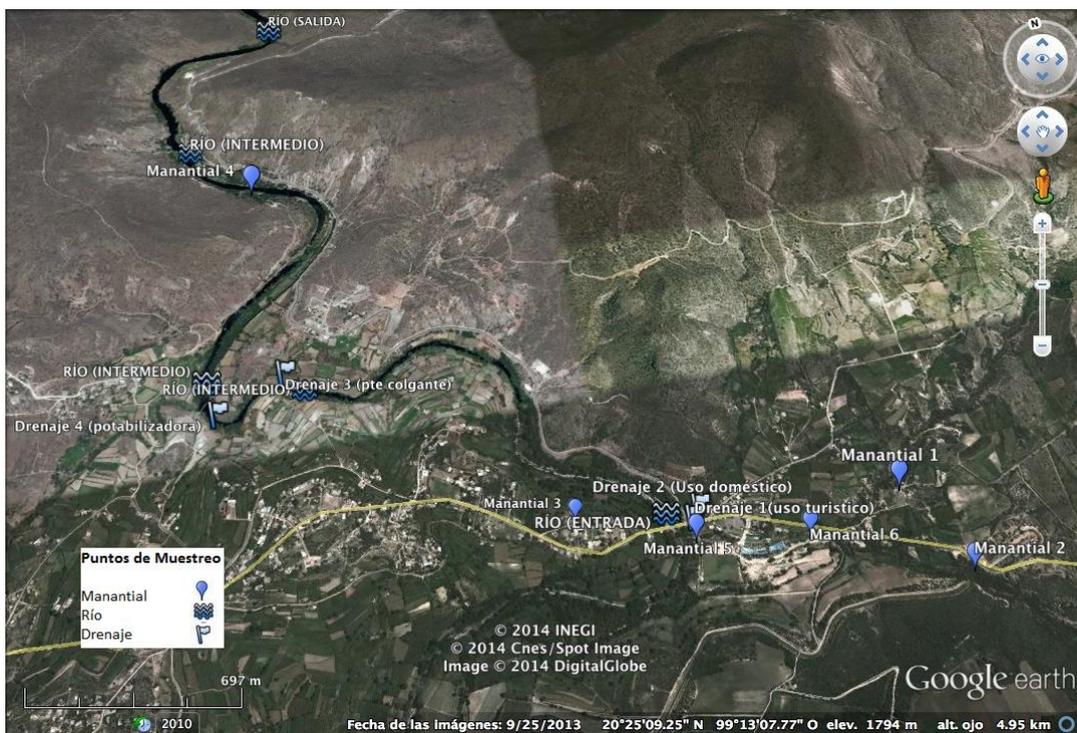


Fig. 34 Fotografía aérea de El Alberto donde se señalan los puntos de muestreo (manantiales, río y drenaje)

Por análisis previos, se estableció que ninguna de las fosas sépticas actualmente activas tiene un funcionamiento adecuado, por lo que se decidió sólo hacer el muestreo al final de la red de alcantarillado previo a la entrada de las fosas sépticas. Así se tiene información sobre el tipo de descarga con la que se cuenta.

A continuación se muestra en la figura 35 un diagrama donde se hace la representación del ciclo de agua actual en la comunidad de El Alberto. Hay que precisar que en 1976, se decidió incorporar el agua residual de ZMVM al efluente del río Tula.

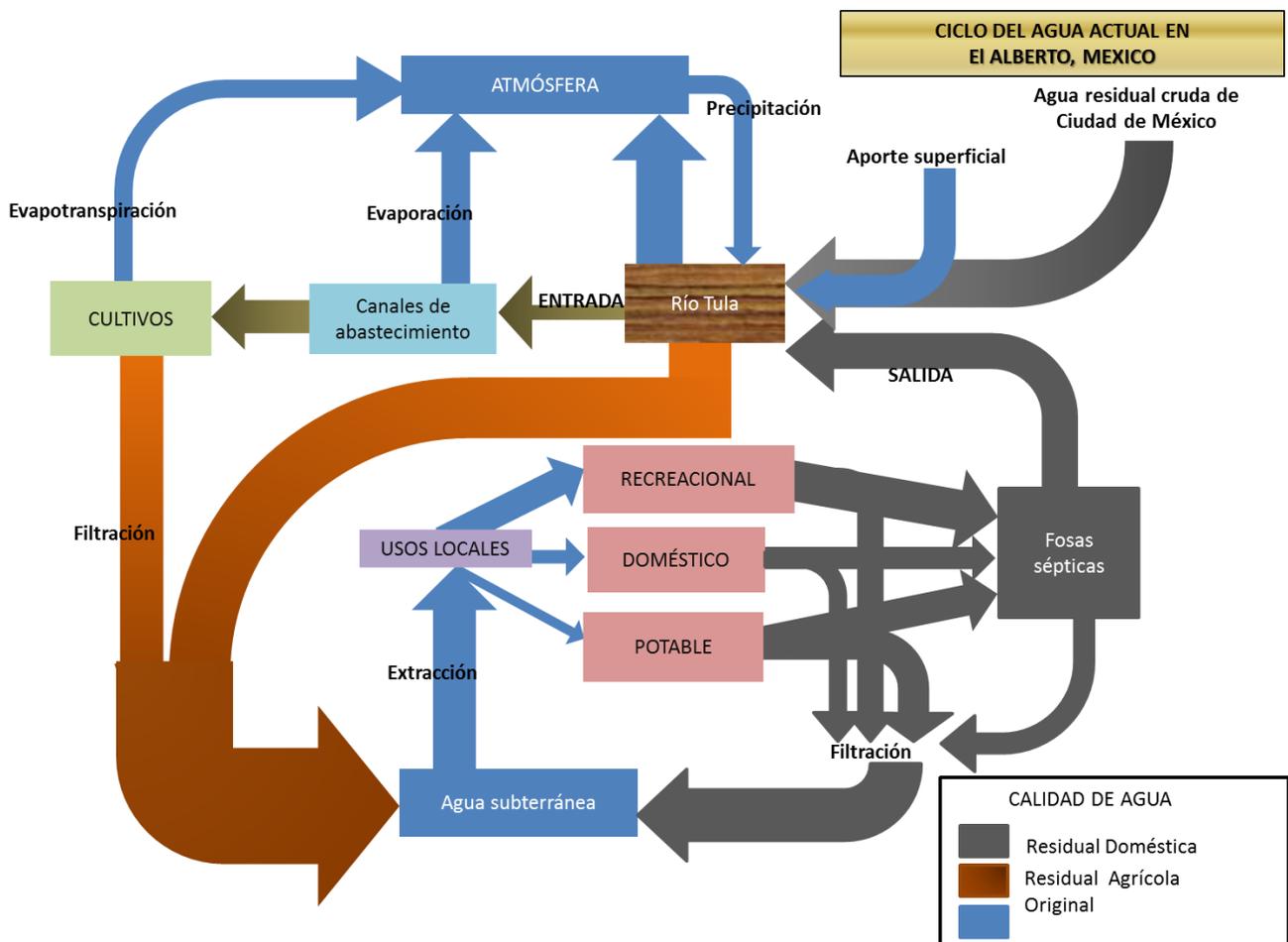


Fig. 35 Ciclo del Agua en El Alberto, México, la mayor parte del recurso extraído está contaminado y se filtra sin un tratamiento. (El ancho de las flechas se relaciona con su importancia de manera general).

Caracterización fisicoquímica y biológica del agua de abastecimiento

En conjunto con la toma de muestras de agua, se realizó una descripción del entorno en el que se localizan los manantiales. Para esta se tomaron registros fotográficos y se realizaron colectas botánicas en un radio de 10 m para su posterior determinación taxonómica. Esta colecta sólo se realizó en la época de estiaje (febrero, 2014) por lo que se esperaría que la vegetación presente en estas zonas sea mayor en la temporada de lluvias (agosto-octubre).

1. Los manantiales se presentan en el orden que fueron muestreados (Tabla 9). El primer manantial denominado **“Manantial Obra de toma”** es uno de los cuales sí está siendo explotando para uso doméstico. La muestra se tomó de la llave procedente de la obra de toma que abastece de agua corriente al parque recreativo “EcoAlberto” en la sección que corresponde al “Gran Cañón”. Alrededor del manantial, se observó que hubo una remoción de la vegetación original en gran parte de la zona que lo circunda. Sin embargo, todavía es posible encontrar algunos ejemplares de flora nativa como *Dicliptera peduncularis*,

Calowrightia parviflora y *Polygonum acuminatum*; aunque no son abundantes en el sitio; las más abundantes son las especies ruderales y arvenses, las cuales son indicadores de un proceso de sucesión ecológica provocado por la perturbación antropológica presente en este sitio.

2. El segundo manantial es “**Manantial Sifón**”, esta fuente no está siendo utilizada para consumo humano. En un ecosistema semiárido donde el paisaje presenta una densidad vegetal baja, encontrar un punto donde la densidad de la vegetación aumenta, es un indicador visual de la presencia de agua. En este radio de colecta se identificaron especies nativas como *Commelina diffusa*, *Baccharis heterophylla*, *Salix humboldtiana* y *Prosopis laevigata* así como diversos tipos de cactáceas (*Mammillaria* sp., *Pachycereus* sp. y *Myrtillocactus geometrizans*), que nos indican que el matorral existente se encuentra en buen estado de conservación. En la parte dentro del claro del agua (2 m), abundan especies ruderales o introducidas como carrizales, apio y berros; además se nota la influencia humana por la presencia de residuos sólidos. A pesar de lo ya descrito, este manantial se localiza cerca (6 -10 m) del sifón que suministra agua del río Tula a otra localidad. Esta cercanía puede afectar la calidad del manantial por filtración, escorrentía y aerosolización.

Estos dos manantiales se localizan en una depresión topográfica. Ambas escorrentías naturales se caracterizan por estar a un costado de paredes de 4 m, hasta 15 m de altura. La vegetación predominante fuera de los 10 m en ambos manantiales es de bosque de mezquite (*Prosopis laevigata*), y a una distancia aproximada de 50 a 100 m se ubican casas habitación.

3. El siguiente manantial descrito corresponde al “**Manantial Lavaderos**”, este se utiliza como fuente de abastecimiento para un lavadero comunal todavía activo, donde la población cercana acude con una frecuencia de 2 veces a la semana en promedio. La presencia de los lavaderos promueve el estancamiento de agua en algunas zonas, donde se observó la presencia de *Lemna minuscula* asociada a algunas algas, ambas reducen la calidad del agua, porque no permiten la penetración de la radiación solar, provocando una eutrofización local. La vegetación que se encuentra en la zona núcleo del radio de colecta son especies en su totalidad indicadoras de perturbación como *Nicotiana glauca* y *Ricinus communis*. En la zona más distal del radio de colecta, se observó que el Matorral xerófilo se encuentra degradado. El flujo del agua es continuo: el lavadero se encuentra directamente sobre el manantial, el agua después de su uso no es canalizada a ningún lugar específico, sino se incorpora al flujo de salida del manantial y se infiltra. El río se encuentra a 200 m de distancia de este manantial.
4. El cuarto manantial denominado “**Manantial Gran Cañón**”, actualmente no se está aprovechando. No obstante anteriormente hubo la intención de construir una alberca, por lo que existe una obra en cemento inconclusa y abandonada. Esto provocó una modificación del bosque de mezquite (*Prosopis laevigata*) que originalmente ocupaba todo ese sitio. Por la presencia de la construcción se evita la filtración directa y existen estancamientos en los cuales se observó flora acuática como el lirio (*Eichhornia crassipes*).

5. El **“Manantial Río”** se localiza en el lado Este del río Tula y el Balneario, en el límite de la rivera y la carretera federal; por lo tanto esta zona es de fácil acceso. El lado Oeste del río se encuentra fuertemente perturbado por la presencia de cultivos y carrizal, y la total ausencia de árboles. Sin embargo, el lado Este del río, donde se ubica el manantial, se observan especies características del Bosque de Galería como el Ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) y el Sauce (*Salix humboldtiana*). Fuera del Bosque de Galería y en las inmediaciones del manantial (a 20 m del río), la flora determinada indica una fuerte perturbación por la presencia de especies exóticas como las poaceas (pastos) y cyperaceas. El sitio se usa para pastoreo y como zona de acampar.
6. Finalmente se muestra el **“Manantial Balneario”**, que se encuentra dentro del predio del “Parque Acuático EcoAlberto”. El agua es termal y es utilizada para el llenado de tres albercas de flujo continuo. La muestra se tomó de un cárcamo entre la fuente de origen y antes de ingresar a las albercas. El perfil vegetal que se encontró está totalmente modificado, ya que se convirtió en un pastizal cultivado para fines recreativos con presencia de arecaceas (palmas) y poaceas. El manantial se localiza en la parte limítrofe de la zona de acampar, por lo que existen relictos de especies arbóreas características de la región como mezquite, sauce y huizache.

A continuación se muestran en la tabla 12 los valores obtenidos para los seis manantiales caracterizados; de los cuales tres **Manantial Obra de Toma, Manantial Lavaderos y Manantial Balneario (Manantial 1, Manantial 3 y Manantial 6)** están actualmente siendo explotados para fines antropogénicos.

Tabla 12 Caracterización fisicoquímica y biológica de los manantiales presentes en la comunidad. Ninguno se utiliza oficialmente como fuente de agua potable, los datos son las medias de 3 réplicas de campo más 3 réplicas del laboratorio.

Fecha de muestreo 23-24 de febrero

	 MANANTIAL 1	 MANANTIAL 2	 MANANTIAL 3	 MANANTIAL 4	 MANANTIAL 5	 MANANTIAL 6	Límite Permisible Para Agua potable
PARÁMETROS	M Obra de toma	M Sifón	M Lavaderos	M Gran Cañón	M Río	M Balneario	
pH	7.03	7.3	7.2	7.03	7.21	6.99	6.5-8.5
Temperatura (°C)	25.2	25.3	23.9	27.1	26	39.6	
Conductividad (S/m)	0.0833	0.0466	0.094	0.057	0.0947	0.0856	0.005 – 0.05
OD (mg/L)	2.6	4	3.6	3.4	3.9	3.1	4.0
Salinidad (0/00)	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3	< 0.5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.18	0.18	0.22	0.18	0.18	0.18	0.05
N-Total (mg/L)	0.61	1.7	1.7	0.61	1.7	1.7	< 10
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	0.5
Coliformes Fecales (UFC/100)	0	36	70	62	0	0	0
Carbono Orgánico Total (mg/L)	2.09	3.7	5.09	1.28	2.53	2.2	5.0

OD= Oxígeno disuelto/ UFC=Unidades Formadoras de Colonias

Los parámetros medidos son sólo algunos de los 276 parámetros considerados dentro de la NOM-127-SSA1-1994 de agua potable. No se evaluaron la totalidad de parámetros de la NOM debido a su uso, ya que el agua proveniente de estas fuentes no es destinada para beber y también por su elevado costo. Se hizo consenso de los parámetros más informativos e importantes para la salud humana en el tipo de uso que se le da a estas fuentes de abastecimiento. Se debe de notar que el agua del Manantial Balneario está destinada a un uso turístico con contacto directo. Por lo tanto, recibe un tratamiento de higienización con cloro en base a la NOM-245-SSA1-2010.

Los valores mostrados en la tabla anterior, son las medias obtenidas de tres réplicas tomadas en campo, a las cuales se les hicieron tres réplicas de las pruebas en laboratorio. Los datos se sometieron a un análisis de varianza, para definir que el valor obtenido para cada manantial fuera estadísticamente diferente entre ellos. Los únicos valores identificados no diferentes estadísticamente son los nitratos, donde el valor obtenido en el manantial 3 **“Lavaderos”** (0.22) no es diferente a (0.18) valor obtenido en el resto de los manantiales.

A partir de los valores obtenidos, resalta el Manantial 3 **“Lavaderos”** ya que se caracteriza por la presencia de Nitrógeno Total, Amonio y Carbono Orgánico total, indicadores de eutroficación, posiblemente relacionados con el uso de detergentes. Esto llama la atención, porque la muestra fue tomada antes de que estuviera en contacto con los lavaderos lo que podría implicar que existe una contaminación al subsuelo, por infiltración del agua residual. Es una suposición probable que es necesario confirmar con análisis de suelo, para así comprobar la presencia también en el suelo. Además de los contaminantes químicos, también se registra la presencia de Coliformes Fecales lo cual es preocupante, ya que la población tiene un contacto directo y constante con esta fuente de agua.

El Manantial 2 **“Sifón”** supera los límites permisivos de la NOM-127-SSA1-1994 en cuanto a Coliformes Fecales, reflejando que la cercanía con el Sifón sí está afectando el acuífero superficial alterando la calidad del agua.

Como resultados positivos de la caracterización se puede notar que los manantiales que se ocupan para consumo uso doméstico y turístico (Manantial 1 **“Obra de toma”** y Manantial 6 **“Balneario”**) no presentan contaminantes de tipo biológico como Coliformes Fecales.

Se hizo un análisis estadístico para identificar los principales componentes que definen a los manantiales, los resultados se muestran en la siguiente tabla (Tabla 13)

Tabla 13 Resultados significativos obtenidos del Análisis de Componentes Principales, al cual se sometieron todos los parámetros cuantificados para los seis manantiales.

Variable	PC1	PC2
NO ₃ ⁻	0.43	-
NH ₄ ⁺	0.26	-
Carbono Orgánico Total	0.44	-
Conductividad	-	0.53
OD	-	0.36
Salinidad	-	0.44

Los valores obtenidos en el primer análisis de componentes principales; dan como resultado que los tres valores que agrupan las muestras son: carbono orgánico total, seguido de los nitratos y amonio. Se hizo un segundo análisis y se obtuvo conductividad, salinidad y oxígeno disuelto.

Para tener una noción gráfica de lo que implican estos datos, se elaboró la siguiente representación (fig. 36) donde están representados los seis manantiales cerca a los parámetros que lo caracterizan según los análisis de PC1 (ordenadas) y PC2 (abscisas).

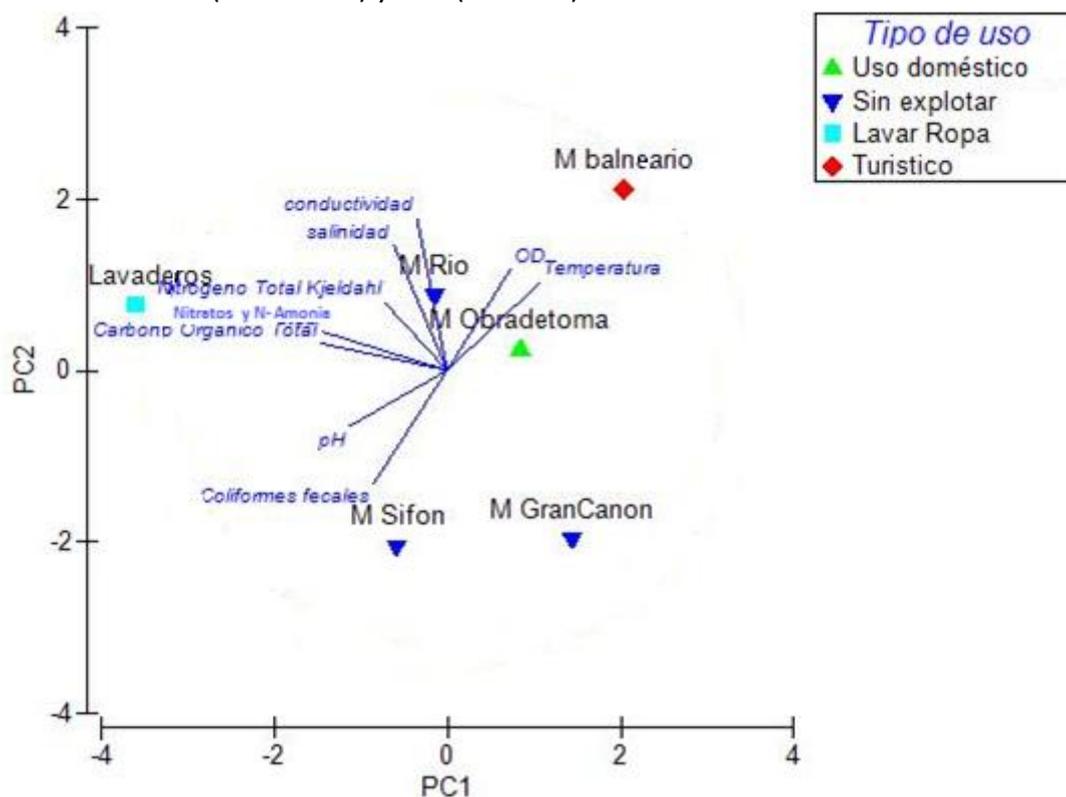


Fig. 36 Representación del análisis multifactorial determinando la relación entre cada parámetro evaluado para los manantiales de la comunidad El Alberto, México.

El Alberto cuenta con un séptimo manantial, el cual se usa exclusivamente para obtención de agua potable. A continuación en la tabla 14 se muestran los valores obtenidos para este manantial en confronte a los límites permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana para Agua Potable (NOM-127-SSA1-1994).

Tabla 14 Resultados de los parámetros evaluados para la determinación de la calidad de agua, del manantial que se ocupa para el abasto de agua potable, en El Alberto, así como los valores de referencia que establece la NOM-127-SSA-1994.

Parámetro	Resultado	Valor de Referencia
Arsénico (mg/L)	< 0.001	0.025
Cadmio (mg/L)	< 0.002	0.005
Níquel (mg/L)	< 0.010	0.02
Plata (mg/L)	< 0.096	0.1
Selenio (mg/L)	< 0.0011	0.01
Plomo (mg/L)	< 0.010	0.01
Cianuro (mg/L)	< 0.0209	0.05
Fluoruros (mg/L)	0.3925	1.5
Nitratos	1.27	10
SAAM (mg/L)	< 0.025	0.5
Olor	Inodoro	Inodoro
Sabor	Agradable	Agradable
Color Pt-Co	< 5	15
Turbiedad UTN	< 0.8	5
Nitritos (mg/L)	< 0.019	0.05
Boro (mg/L)	< 0.1	0.3
Cloro Residual (mg/L)	No se detectó	0.1
Formaldehído (mg/L)	No se detectó	0.9
Trihalometanos totales (mg/L)	No se detectó	0.2

De la tabla anterior se puede decir que la calidad de agua del manantial es apta para ser utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable, ya que no rebasa ningún límite permisible establecido en la norma, lo que garantiza a la gente que consume agua proveniente de esta fuente que no se encuentra expuesta a contaminantes que comprometan su estado de salud.

Caracterización fisicoquímica y biológica del agua del Río Tula

El río Tula juega un doble papel: es fuente principal de abastecimiento del manto freático que alimenta los manantiales, de riego de cultivos y por otro lado, es receptor de las descargas de agua residual proveniente de uso doméstico y de actividades turísticas de la comunidad.

A continuación se muestran en la tabla 15, los criterios de observación para la descripción del bien nacional en esta sección, esta descripción se obtuvo durante el muestreo que se llevó a cabo en temporada de lluvias (octubre) en los cinco sitios caracterizados.

Tabla 15 Criterios de observación de los puntos del río Tula en donde se llevó a cabo el muestreo.

Sitio	Ancho aproximado	Profundidad promedio	Presencia de Espuma
Entrada	60 m	75 cm	Presente
Intermedio 1	30 m	3 m	Ausente
Intermedio 2	80 m	3 m	Presente
Intermedio 3	23 m	5 m	Presente
Salida	30 m	15 m	Ausente

En la tabla 16, se muestran los valores obtenidos de los parámetros evaluados; en la última columna se muestran los límites máximos permisibles de contaminantes para la protección de vida acuática en aguas y bienes nacionales que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996).

Tabla 16 Caracterización físico química y biológica del agua del río Tula (entrada, puntos intermedios y salida) en la comunidad El Alberto, México.

Fecha de muestreo: 26 – 27 de octubre

PARÁMETROS	RÍO (ENTRADA) 	RÍO (INTERMEDIO) 	RÍO (INTERMEDIO) 	RÍO (INTERMEDIO) 	RÍO (SALIDA) 	Límite permisible para agua de bienes nacionales para protección de vida acuática (NOM-001-SEMARNAT-1996)
	Río PV	Río PC	Río D	Río PT	Río SP	
pH	7.7	7.67	7.73	7.67	7.63	6.5 – 8.5
Temperatura (°C)	20.2	19.93	21.1	19.8	19.7	40
Conductividad (S/m)	0.0878	0.0857	0.0877	0.0842.3	0.0808	
OD (mg/L)	4.3	4.43	5.3	5.6	5.4	9.1 a 20°C
Salinidad (0/00)	0.5	0.5	0.47	0.5	0.5	
SST (mg/L)	0.017	0.0201	0.0108	0.0201	0.093	60 (P.M.)
ST (mg/L)	0.032	0.033	0.044	0.0381	0.0377	
SDT (mg/L)	0.049	0.0531	0.0548	0.0582	0.1307	
DQO (mg/L)	73.66	75.67	75.83	70.5	85.67	
DBO ₅ (mg/L)	7.93	6.8	11.82	11.37	9.6	30-60
Amonio (mg/L)	32.26	31.47	30.75	31.27	29.58	0.1
Coliformes F (NMP/100 ml)	> 2400	> 2400	> 2400	> 2400	> 2400	1000-2000

OD= Oxígeno Disuelto/ SST=Sólidos suspendidos totales/ ST= Sólidos totales/ SDT= Sólidos Disueltos totales/ DQO= Demanda Química de Oxígeno/ DBO₅= Demanda Biológica de Oxígeno/ P.M.= Promedio Mensual/NMP=Número Más Probable.

Al igual que las muestras de los manantiales, los valores de la tabla anterior corresponden a las medias de las réplicas realizadas tanto en campo (3) como en el laboratorio (3). Existe poca variación entre los valores obtenidos en cada sitio: la entrada del río Tula al Alberto ya presenta valores de contaminación considerables, esto se debe a lo dicho previamente; el río Tula, es el cuerpo de agua al que desemboca el agua residual de la ZMVM y que además existen descargas continuas a lo largo de todo trayecto del río Tula. Aun considerando procesos de atenuación natural la contaminación del río Tula se mantiene debido a descargas directas e indirectas provenientes de un uso doméstico, industrial hasta El Alberto, Hidalgo.

En la siguiente tabla (Tabla 17), están los parámetros que tienen los valores más altos del análisis estadístico de componentes principales que identifican al grupo de muestras. Dando como resultado en primer lugar Coliformes Fecales, que es una constante en todos los puntos, sucesivamente se encuentran oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal y DBO₅; el segundo análisis muestra pH, temperatura y conductividad.

Tabla 17. Resultados significativos obtenidos del PCA, para los puntos muestreados en el río.

Variable	PC1	PC2
pH		0.49
Temperatura		0.44
conductividad		0.44
OD	0.41	
DBO ₅	0.38	
NH ₄ ⁺	0.39	
Coliformes Fecales	1	1

Enseguida la representación gráfica de los resultados del análisis estadístico, en el centro Coliformes Fecales, ya que los valores se mantienen iguales en todos los puntos. En cuanto al resto de los parámetros la diferencia entre los valores obtenidos en cada punto, no es significativa estadísticamente; sin embargo, se puede observar que hay diferencias sutiles entre los puntos, esto se debe a cambios en la profundidad y ancho del río que hacen que en algunos puntos los contaminantes se diluyan o se concentren, estas pequeñas diferencias se pueden ver de manera más clara en el gráfico (fig. 37).

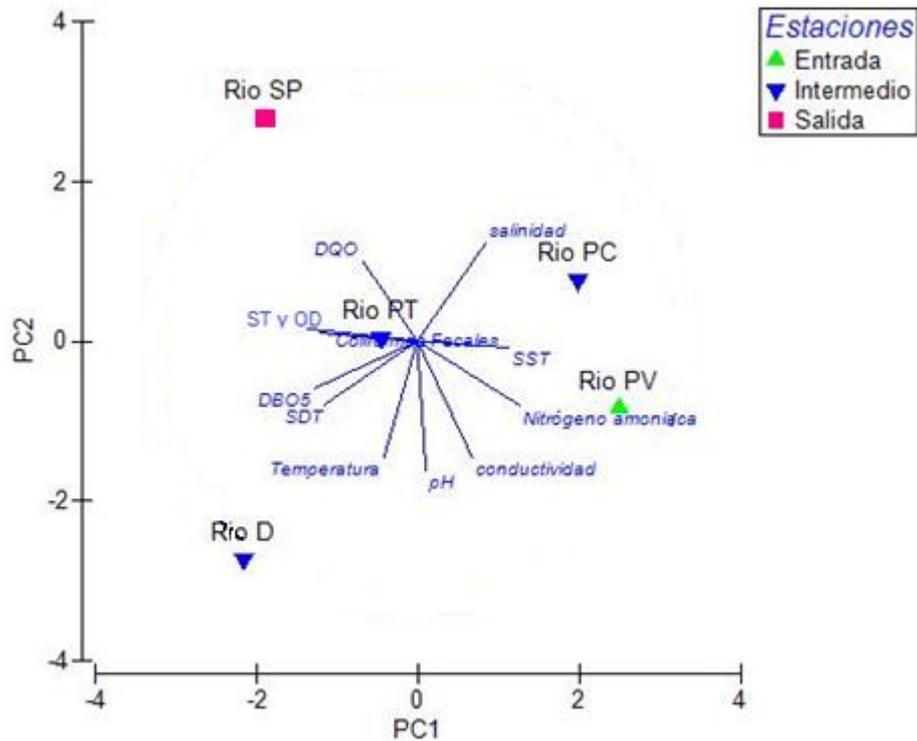


Fig. 37 Representación gráfica del análisis de componentes principales, para los cinco puntos caracterizados en la fracción del río Tula que atraviesa El Alberto, México.

La entrada del río en El Alberto se caracteriza por la presencia de nitrógeno amonio, una de las cuatro formas del nitrógeno que se pueden encontrar en un medio acuático. La presencia y alta concentración de nitrógeno amonio reflejada en los resultados, indica que el río Tula es un cuerpo muy contaminado, que necesita ser tratado. En los puntos intermedios las variaciones son muy bajas entre los parámetros medidos, lo cual se relaciona con la poca distancia y el flujo del cuerpo de agua. Sin embargo en el punto intermedio correspondiente al “**Río Desvío**” se observó la presencia de espumas densas como se puede observar en la siguiente figura (fig. 38), que son indicadoras de presencia de fósforo proveniente de las descargas de agua residual con uso de detergentes (Mora-Ravelo *et al.*, 2014).



Fig. 38. Punto de muestreo intermedio, donde se observa la presencia de espumas en cuerpos amorfos de hasta 30 cm de ancho hasta 3 m de largo. Estas espumas son indicadores de la presencia de detergentes, los cuales contienen fósforo.

La salida del río Tula de la comunidad, se caracteriza por unos valores altísimos de DQO (85.67 mg/L); este parámetro es un indicador de contaminación y pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica. Sin embargo, también refleja la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles a ser oxidadas por una reacción netamente química. Que el valor de la DQO en el punto de salida sea el más elevado con respecto al resto de los puntos, implica que si existe un aporte de materia orgánica y contaminantes oxidables de parte de la comunidad El Alberto al río Tula que se ve reflejado en la calidad del cuerpo de agua.

Caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual doméstica.

A continuación se muestra el mapa de la comunidad (fig. 39), donde se encuentra señalada la superficie urbana que sí cuenta con una red de drenaje; el resto de la comunidad que no tiene este servicio, cuenta con fosas sépticas independientes. Por otra parte, se reportaron varios casos de defecación al aire libre.

Para la obtención de estos datos, se hizo una encuesta (Anexo 1) en 128 casas habitadas de la comunidad de un total de aproximadamente 200 casas (conversación personal de las autoridades de la comunidad), lo cual corresponde al 64% de la comunidad. En aquellas casas donde no se obtuvo información (motivo de ausencia temporal o residencia en Estados Unidos), fueron los guías quienes proporcionaron datos de los vecinos. Estas casas se encuentran en la zona donde ya no

existe infraestructura de alcantarillado ni drenaje. Por lo tanto, sólo falta corroborar si se cuenta con fosa séptica o se practica defecación al aire libre.

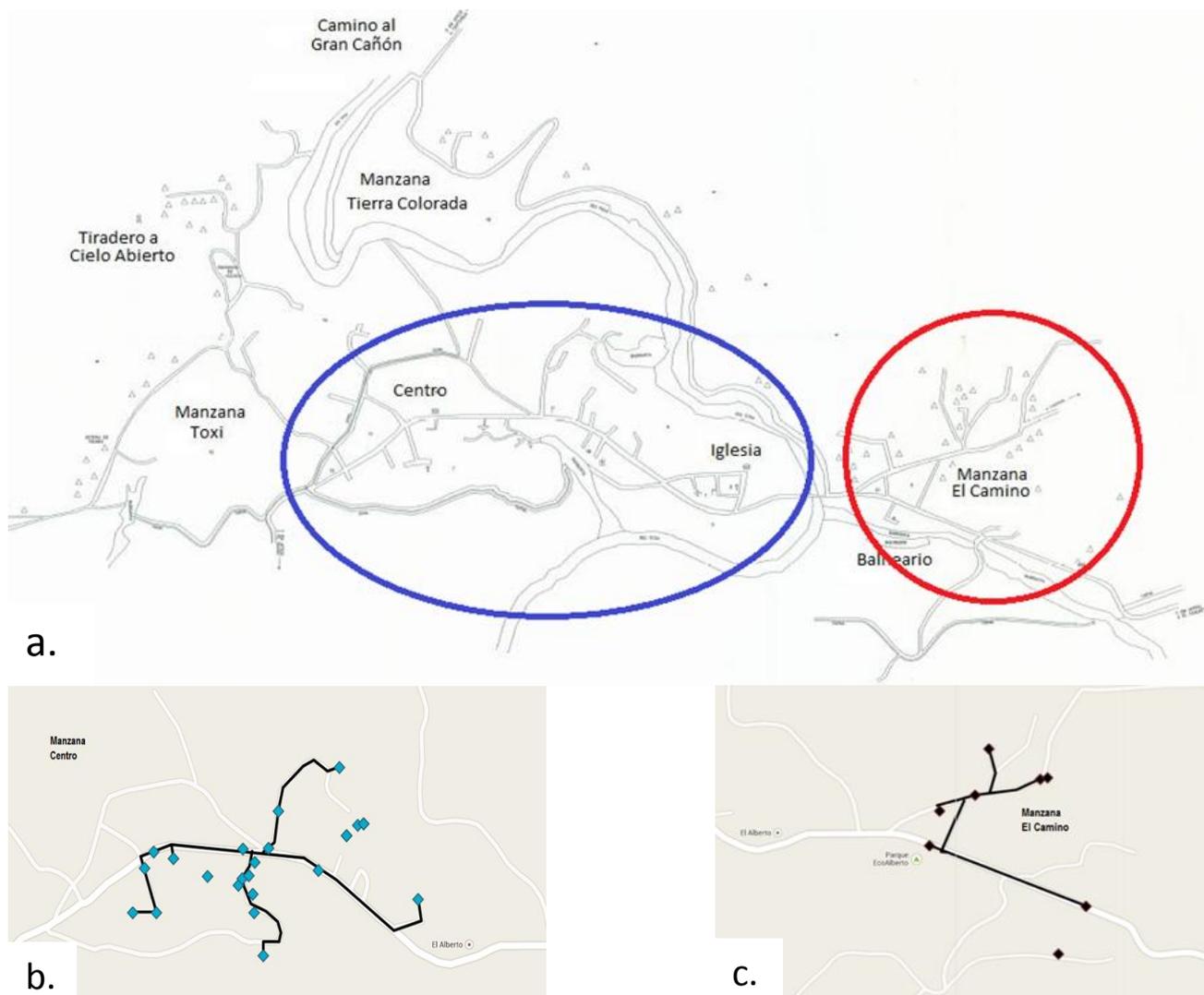


Fig. 39. Mapa de la comunidad donde se observa que sólo las manzanas denominadas “El Centro” y “El Camino” cuentan con red de drenaje, el resto de la comunidad cuenta con fosas sépticas particulares o practica de fecalismo al aire libre (a). En las imágenes inferiores (b y c) se muestra detalle de la red de drenaje identificada y las casas que están conectadas a esta red.

El total de casas conectadas al drenaje corresponde al 21% de la totalidad de casas encuestadas. Estas redes de drenaje llegan a tres fosas sépticas comunales; estas descargas fueron identificadas y evaluadas. A continuación se muestran en la tabla 18 los parámetros evaluados en los cuatro sistemas de drenaje con los que cuenta la comunidad El Alberto, el primero corresponde a un uso turístico, mientras que el resto corresponde a un uso doméstico. El muestreo del sistema de drenaje se realizó durante 24 h, entre el día 26 y 27 de octubre de 2014.

Tabla 18 Parámetros evaluados para la caracterización del agua residual de la comunidad de El Alberto. Todos los valores antes mencionados para cada parámetro son la media de las réplicas realizadas tanto en campo como en el laboratorio

PARÁMETROS	DRENAJE 1	DRENAJE 2	DRENAJE 3	DRENAJE 4
	 FS Balneario	 FS Camino	 FS Potabilizadora	 FS Puente colgante
pH	7.85	7.94	7.83	7.99
Temperatura (°C)	28.38	20.97	20.85	19.28
Conductividad (µS/cm)	831.83	878.07	1309.67	850
OD (mg/L)	1.8	1.47	3.13	4.87
Salinidad (0/00)	0.34	0.8	0.7	0.47
SST (mg/L)	0.04	0.11	0.01	0.02
ST (mg/L)	0.31	0.91	0.86	0.54
SDT (mg/L)	0.27	0.8	0.85	0.52
DBO ₅ (mg/L)	12.53	21.86	14.13	13.87
DQO (mg/L)	40.33	472	62.33	55.67
NH ₄ ⁺ (mg/L)	27.85	100	29.75	23.55
Coliformes F (NMP/100 ml)	> 2400	> 2400	> 2400	> 2400
Huevos de Helminto (HH/g)	1	3	0	0
Flujo (L/s)	0.8	0	1.2	0.24

En la siguiente tabla (Tabla 19) se muestran los resultados estadísticos de la prueba de componente principales: los parámetros más influyentes en las muestras fueron DQO, DBO₅ y Amonio (PC1), estos tres parámetros coinciden con los del PC2, dejando en primer lugar la DBO₅; en segundo término el Amonio y por último la DQO.

Tabla 19 Resultados significativos de los componentes principales obtenidos en el análisis estadístico para la red de drenaje, de “El Alberto”, México.

Variable	PC1	PC2
DQO	0.21	0.5
DBO ₅	0.69	0.7
NH ₄ ⁺	0.67	0.5

El gráfico muestra todos los parámetros evaluados (fig. 40). Los servicios de regaderas y sanitarios son abastecidos con agua del manantial termal, por lo que la temperatura se mantiene alta, lo que separa esta muestra del resto de los sitios. Por otro lado, el Drenaje 2, “**FS Camino**” presenta las concentraciones más altas de DBO₅, DQO y de Amonio.

El Drenaje 3, “FS Potabilizadora” y el Drenaje 4, “FS Puente Colgante” se encuentran dentro de la circunferencia representando que los valores no son los más altos, sino que se encuentran dentro del margen de influencia. Por otra parte el Drenaje 4, “FS Puente colgante” presenta valores de pH y de OD más altos que el Drenaje 3, por lo que se localiza más cercano a estos valores.

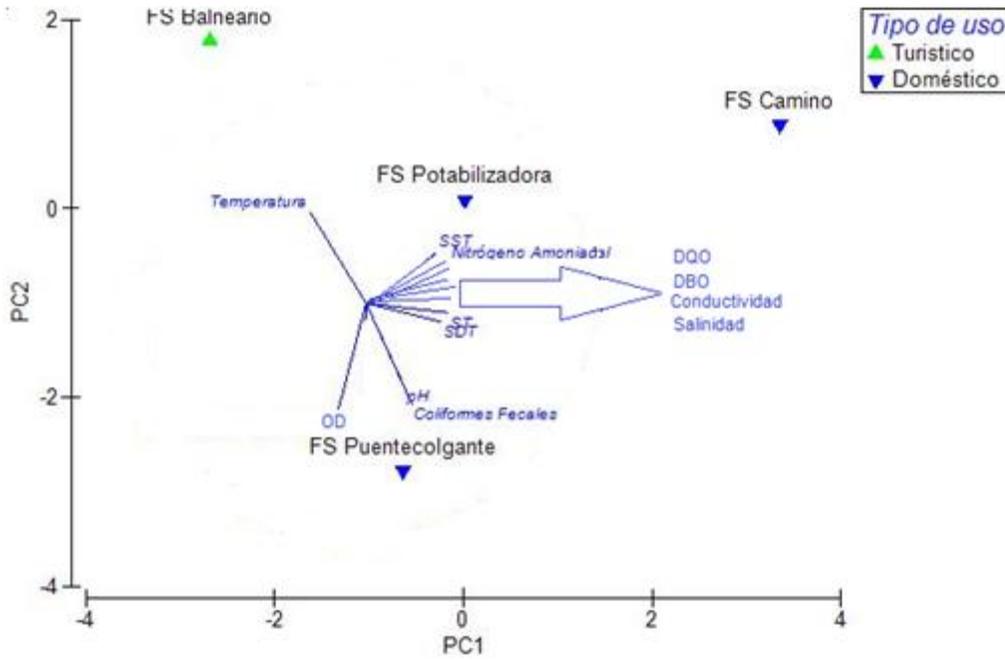


Fig. 40 Representación gráfica del análisis de componentes principales, para los cuatro puntos caracterizados del drenaje, en “El Alberto”, México.

El análisis de componentes principales para los cuatro puntos de aguas residuales de El Alberto indica la heterogeneidad entre ellos a nivel de la temperatura, flujo, DQO y Amonio. Los niveles de DQO medidos en “FS Camino” se relacionan con un agua negra fuertemente contaminada (superior a 200 mg/l). En “FS Puente colgante”, “FS Potabilizadora” y “FS Balneario”, los niveles de DQO medidos se relacionan con un agua negra contaminada con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal ($40 < DQO \leq 200$), datos basados en la escala de clasificación de la calidad del agua de la CONAGUA. Sin embargo, para los cuatro puntos, la DBO_5 presenta niveles dentro de un intervalo aceptable con indicio de contaminación ($6 < DBO_5 \leq 30$): esta aceptabilidad se entiende que son aguas con capacidad de autodepuración cuando se encuentran en sistemas abiertos, o bien que pueden ser descargas de aguas residuales susceptibles de ser tratadas biológicamente por sistemas aerobios o anaerobios. El contenido en sólidos suspendidos totales en todos los casos es bajo, y por lo tanto se podría relacionar con una buena calidad de agua. Esta diferencia de criterios en función de los indicadores escogidos puede relacionarse en un residuo con materia orgánica de tipo doméstica y la otra de tipo detergentes, productos de limpieza utilizados en casa habitación y por los turistas, haciendo un agua residual de tipo municipal. Además un estudio granulométrico será necesario para

confirmar la alta presencia de arenas y arcillas en las aguas residuales, las cuales se pueden medir durante el análisis de DQO y aumentar este valor.

Otro proceso que se debe de considerar en estos análisis, son los sistemas de alcantarillado que probablemente presentan fisuras importantes que provocan la filtración de las aguas de escorrentía de los campos agrícolas ubicados en estas zonas y de los traspatios, en los cuales se encuentran en la mayoría de ellos animales de corral. Es necesario confirmar esto en estudios posteriores con un análisis ingenieril de toda la infraestructura del alcantarillado.

Discusión general, comparación de Abu Minqar y El Alberto

A partir de los resultados obtenidos de los muestreos y de la determinación del actual ciclo del agua en ambos casos de estudio, el cual se representó de manera gráfica (Figuras 32 y 35), notando la calidad y cantidad de agua en cada paso del ciclo existen muchos puntos donde es necesario una inflexión para mejorar el desarrollo de ambas comunidades.

En ambas comunidades, las políticas gubernamentales favorecieron el desarrollo de riego agrícola, lo cual corresponde a un aporte hídrico de manera artificial en sistemas de semidesértico a desértico, respectivamente. Ambas decisiones políticas están enfocadas de manera unidireccional a resolver la falta de agua en atención a problemas sociales parciales sin mayor gestión hacia la sustentabilidad.

Como ya fue explicado, los ecosistemas en cuestión son de tipo árido y semiárido. En el caso de los ecosistemas áridos y semiáridos se tiene un régimen de tipo pulso-reserva, que quiere decir que existe una variedad temporal muy marcada. En nuestros sitios de estudio no se respeta el régimen sino que se modifica por el aporte artificial, basado en la importación de agua para crear microambientes correspondientes a otras zonas ecológicas.

En el caso de El Alberto, mediante la extensión del sistema de canalización del agua residual desde la presa Endhó, proveniente de la Ciudad de México hacia el estado de Hidalgo, dentro del marco político de ampliación de distritos de riego para “modificar las condiciones extremas de pobreza de la región”.- En el caso de Abu Minqar, dentro del marco de las políticas de desarrollo del Desierto con la construcción de pozos para la extracción de agua fósil para una recuperación nacional del suelo junto con la reubicación de poblaciones en nuevos asentamientos.

La particularidad reside en la disponibilidad de agua entre un ecosistema árido y semiárido; la evolución del clima en ambos sistemas promueve la evaporación del agua y por lo tanto en la presencia, ausencia y diversidad de vegetación nativa. Solamente la inversión de capital en Abu Minqar, garantiza la extracción del recurso.

A continuación se presenta la tabla 20, en la cual se muestran los dos casos de estudios confrontados con los indicadores de sustentabilidad evaluados (abastecimiento y saneamiento). El Alberto, un sistema semiárido con una mayor disponibilidad de agua que Abu Minqar, pero que depende del régimen climático y social de la región, posee vegetación nativa del tipo matorral xerófilo y endemismos en cactáceas.

Tabla 20 Tabla comparativa final donde se presentan los indicadores de sustentabilidad evaluados en ambas comunidades: Abu Minqar, Egipto (Árido) y El Alberto, México (Semiárido).

	Nuevo Valle (Desierto del Oeste) Abu Minqar Desierto de arenas Árido			Región XII (Tula) El Alberto Semi desértico Semi árido		
	Presencia	Porcentaje	m ³ /año	Presencia	Porcentaje	m ³ /año
Disponibilidad						
Acuífero	Sí	100	28108080			
Precipitación	No	0		Sí	75	10375580000*
Importación de otras cuencas	No	0		Sí	4	614950000*
Recarga de manto freático	No	0		Sí	12	1710600000*
Escorrentamiento superficial virgen	No	0		Sí	8	1174730000*
Vegetación						
Nativa	No	0		Sí	95	
Introducida	Sí	100		Sí	5	
Abastecimiento			Cantidad	Cantidad		
Pozos (flujo continuo)	Sí	10		No	0	
Pozos (flujo regulado)	Sí	5		No	0	
Manantiales	No	0		Sí	7	
Canales de distribución para uso	Sí	25		Sí	25	
Potabilizadora	No	0		Sí	1	
Red de distribución de agua	No	70		Sí	88	
Saneamiento			Porcentaje	Porcentaje		
Red de drenaje agrícola	Sí	100		Sí	100	
Red de drenaje doméstico	No			Sí	21	
Fosas sépticas particulares	Sí	70		Sí	69	
Planta de tratamiento de agua	No			Sí	21	
Cuerpo receptor de agua residual (cruda o tratada)						
Depósito de agua residual	Sí	N. D.				
Río Tula				Sí	N. D.	

*Estos datos corresponden a la Región XIII Tula, donde se encuentra comprendido "El Alberto"

Como se puede observar de la tabla anterior, ninguna comunidad satisface al 100% los parámetros evaluados, ya que ambos ecosistemas han sido altamente modificados lo que implica una inyección de capital para poder mantener en función estos socioecosistemas. Es importante resaltar que es El Alberto dentro de los casos tratados, el de mayor infraestructura en abastecimiento y saneamiento ya que obtuvo el mayor número de presencias (Sí) tanto en el sistema de abastecimiento como en el de saneamiento

Sin embargo la simple presencia y ausencia de los sistemas (abastecimiento y saneamiento) no bastan, de ahí que se hicieran los estudios relacionados con la calidad y cultura del agua.

En este sentido, se encuentra que el abastecimiento de agua en ambas comunidades presenta deficiencias: por un lado las instalaciones no garantizan la calidad del agua durante la extracción y

transporte al usuario; como se puede ver en los resultados, existe una exposición directa al ambiente; éste contacto refleja contaminación de tipo fisicoquímica y biológica.

En el caso de Abu Minqar, donde el agua extraída se utiliza para riego agrícola, se observa que el agua proveniente del subsuelo, tiene altas concentraciones de fierro que da un color rojizo al agua; además tiene un porcentaje de sales disueltas alto que puede provocar daños a la infraestructura. Sin embargo para fines de riego, el agua es de buena calidad, pero para consumo humano no lo es. Sería una óptima decisión el hacer cambios en el sistema de riego con el fin de disminuir la exposición directa a la radiación solar y optimizar el uso del recurso limitante.

En el caso de El Alberto, como ejemplo de relevante importancia es la presencia de coliformes fecales en tres de las seis fuentes de abastecimiento analizadas, que a pesar de que dos de ellas son puntos que no han sido explotados, la presencia de coliformes impide su uso para consumo humano. Si se quiere modificar esta condición de contaminación, por un lado se debe hacer la identificación de la fuente de contaminación.

En ambos casos la correcta planeación de la infraestructura permitiría evitar contaminación y garantizaría la calidad del agua, para el uso que se desee incluido el grado potable. Es importante hacer un monitoreo regular de toda fuente de abastecimiento para asegurar que la calidad se mantenga.

Hasta el momento del estudio el uso del recurso hídrico de mayor demanda en las comunidades es el agrícola, y se observó en el caso de Abu Minqar que existe la producción de cultivos de alta demanda de agua en especial, cultivos forrajeros, como la alfalfa que no van acorde con las condiciones del lugar. Por otro lado, no sólo los cultivos son los adecuados, sino también existen carencias en los sistemas de riego, por lo que el método más difuso por ser el más económico y de fácil implementación, es el método de riego por inundación. Ambos son factores que nos hablan del mal manejo del recurso limitante, por lo que es necesario hacer un cambio en el método de producción tratando de que los cultivos seleccionados así como los sistemas de riego, sean adecuados a las condiciones ecosistémicas. Además de que sean consecuentes con los hábitos alimenticios de los pobladores y exista un beneficio económico al fortalecer la microeconomía local. El conjunto de las condiciones nos llevará a una productividad sustentable, que se refiere al manejo compatible entre el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores con la conservación de los recursos naturales.

En el Alberto, la principal contaminación es por uso doméstico, que implica aporte de materia orgánica y microorganismos de origen fecal así como productos de limpieza y fertilizantes. Todos ellos tienen un impacto en la comunidad vegetal acuática principalmente, ya que las plantas aprovechan el excedente de nutrientes presentes en este tipo de contaminantes. Esto permite una proliferación de la comunidad bacteriana y de algas, que provocan un alto consumo del oxígeno disuelto en el agua; las algas pueden llegar a cubrir la superficie del agua provocando la muerte de plantas acuáticas. Por falta

de luz y de oxígeno, el ecosistema aerobio se corre peligrosamente a un ambiente anaerobio, que resulta letal para la mayoría de la fauna (Vollenweider, 1971).

Para medir el desarrollo sustentable de estas comunidades se tomaron el abastecimiento y el saneamiento como indicadores, ya que el agua es un recurso que juega un papel crucial en la existencia de los ecosistemas y comunidades humanas; y que además va estrechamente relacionado con el sector salud y con el esfuerzo de extracción y tratamiento de agua residual (compromiso económico y bienestar social) por lo que los valores obtenidos son válidos e informativos para conocer la dirección hacia el desarrollo sustentable.

En base a lo anterior, es necesario replantear un enfoque que implique la participación de la comunidad desde la etapa de planeación para hacer conscientes a los propietarios y usuarios de la tierra, sobre la condición biológica en la que se encuentra su territorio y así promover la diversificación de usos y funciones. Sobre todo aquellas que no estén condicionados a la incorporación de capital o bien que requieran el mínimo de inversión y logre optimizar el uso de los recursos locales, disminuyendo la dependencia extrarregional.

La aplicación real de estos conceptos, es más tangible a llevarse a cabo en El Alberto que en Abu Minqar, porque la fuente de abastecimiento es finita y no existe recarga al acuífero, sin embargo es posible hacer en ambos casos un uso más eficiente que prolongue la vida útil del recurso.

En el caso de Abu Minqar, no existen redes de abastecimiento ni de saneamiento adecuadas, ni existen planes de ser realizadas a mediano ni largo plazo (entrevista con autoridades locales). No muestran interés en exigir cambios de mejoramiento de esta condición, ya que en el caso de que la situación empeore existe la posibilidad de ser reubicados, por lo que su mentalidad refiere a un estilo de vida nómada (resultados obtenidos mediante encuestas a la población y autoridades locales).

En el caso de El Alberto, el escenario no es el mismo, existe una red de abastecimiento y saneamiento que todavía no abarcan el total de la comunidad pero la población local, son conscientes sobre su condición y muestran un interés por el mejoramiento de los sistemas (encuesta), lo que provoca una fuerte presión a las autoridades locales, esta conciencia proviene mayoritariamente a que muchos de los habitantes de esta comunidad han vivido en Estados Unidos y buscan importar las formas de vida de aquel país.

Los sitios aquí analizados son parte de un conjunto de comunidades que comparten esta problemática, y sirven de modelo para hablar sobre la situación regional. Son muchos los errores identificados y cometidos en la estructuración de políticas establecidas desde el siglo pasado en temas de gestión de recursos naturales: El primero es que se basan en la suposición de que las respuestas del ecosistema a un uso humano es lineal, predecible y controlable; el segundo error fundamental ha sido la suposición de que los sistemas humanos y naturales se pueden tratar de forma independiente. Sin embargo, la

evidencia que se ha ido acumulando en diversas regiones del mundo durante las últimas décadas sugiere que los sistemas naturales y sociales se comportan de manera no lineal y que los sistemas socio-ecológicos actúan fuertemente acoplados y evolucionan de manera integral (Folke *et al.*, 2002).

Esas bases científicas obtenidas en este estudio pueden llegar en la propuesta siguiente de manejo del recurso hídrico para cada comunidad basado en un cambio drástico hacia una nueva cultura del agua como un recurso vulnerable, vital y limitado, que se reflejen como un impacto positivo que modifique el ciclo hidrológico actual hacia un racionamiento ecológicamente viable y sostenible a largo plazo.

En el caso de Abu Minqar, Egipto, la apuesta de esta investigación, considerando los aspectos ambientales, la disposición de capital así como los resultados de los análisis de calidad, se propone como acción local ante la principal problemática, la optimización en el manejo del recurso agua, disminuir el tiempo de exposición a la radiación solar, y se propone también, como se muestra en el esquema de la figura 42, la implementación de cultivos halófitos que resistan concentraciones de sales en el agua, clima desértico y sustrato arenoso pobre en nutrientes. Por pruebas en laboratorio se ha demostrado que esto es posible: una mezcla de agua residual (20%) y agua de pozo (80%), permite que las semillas se desarrollen. Los cultivos que resultaron más aptos para ser cultivados fueron árboles de olivo, betabeles y sorgo. Estas tres especies son comestibles por lo que permite el aprovechamiento local del producto (DDC, 2013). Por otro lado se propone el mejoramiento del sistema de saneamiento de uso doméstico, para disminuir la defecación al aire libre y los posibles riesgos a la salud de la población local. Por las condiciones del territorio así como por ser un modelo a corto plazo, se plantea que no existe una eficiencia completa, sin embargo hay una disminución importante de filtración directa al suelo de agua. A continuación se muestra el ciclo actual del agua, ya descrito previamente (fig. 41) y el ciclo del agua planteado (fig. 42).

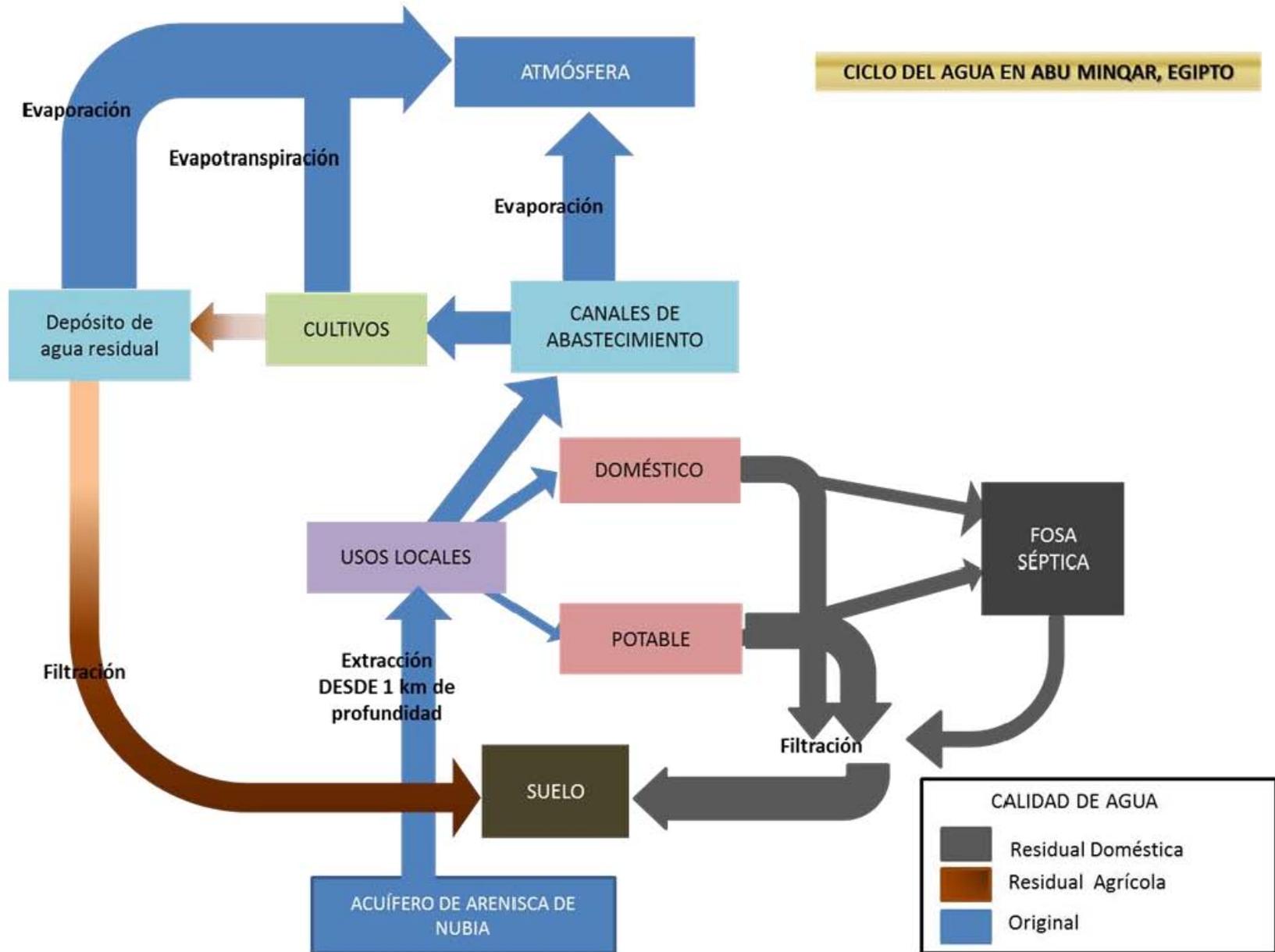


Fig. 41 Ciclo del agua actual, en Abu Minqar, Egipto.

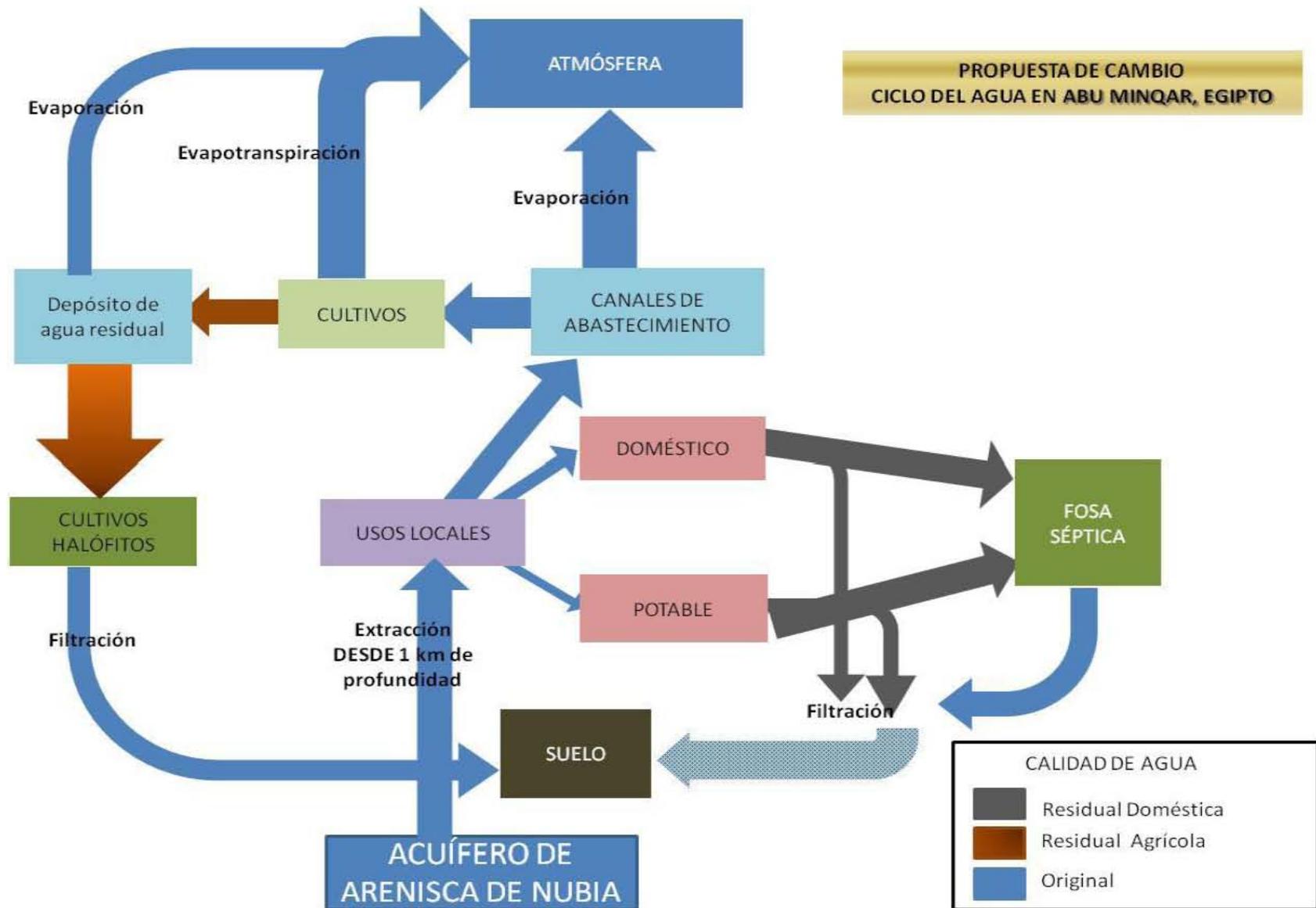


Fig. 42 Ciclo del agua en el Oasis de Abu Minqar, Egipto, con las modificaciones propuestas como soluciones a la problemática actual de pérdida por evaporación, que promueve la optimización del uso del recurso, beneficios ambientales y producción de alimentos.

Para el caso específico de El Alberto existe una red de abastecimiento con una cobertura total al 100% con una gestión de calidad y disponibilidad particulares, ya que cumplen las normas de calidad de agua potable pero se sirven por tandeo con el fin de gestionar el uso y gastos por energía eléctrica en bombas, lo que implica una gestión encaminada a un desarrollo sustentable. En este esquema de servicio de agua potable, la comunidad acepta adecuar sus actividades en los horarios del servicio de agua, para disminuir costos e indirectamente optimizar la energía. Por otra parte, la cobertura de la red de saneamiento no es total y las características topográficas de la localidad hacen difícil planear una sola red que concentre el agua residual. Es este problema el que se ilustra en el modelado del ciclo del agua como se establece en la figura 43.

La comunidad ha reconocido la necesidad urgente de dar canalización y tratamiento al agua residual en una cobertura total, pero bajo un esquema de mínimos costos energéticos. Los requerimientos de ingeniería, personal especializado y consumo de energía, son a veces innecesarios en medios rurales y podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento (por ejemplo fosas sépticas y humedales). En el presente estudio, con el apoyo de la comunidad, se determinó que una solución viable es la de construir varias plantas de tratamiento de agua residual; que permita modelar un nuevo esquema del ciclo del agua el cual se muestra en la figura 44. Se consensuó que la solución a la problemática de saneamiento, puede ser solucionada mediante una planta de tratamiento con un diseño que consiste de un tanque biológico anaerobio (tanque Imhoff) acoplado a un humedal artificial, como post-tratamiento. Lo que permite el reúso del agua tratada en cultivos de hortaliza y la reinsertión de la materia orgánica en los ciclos biogeoquímicos de manera controlada y evita el uso de energía eléctrica.

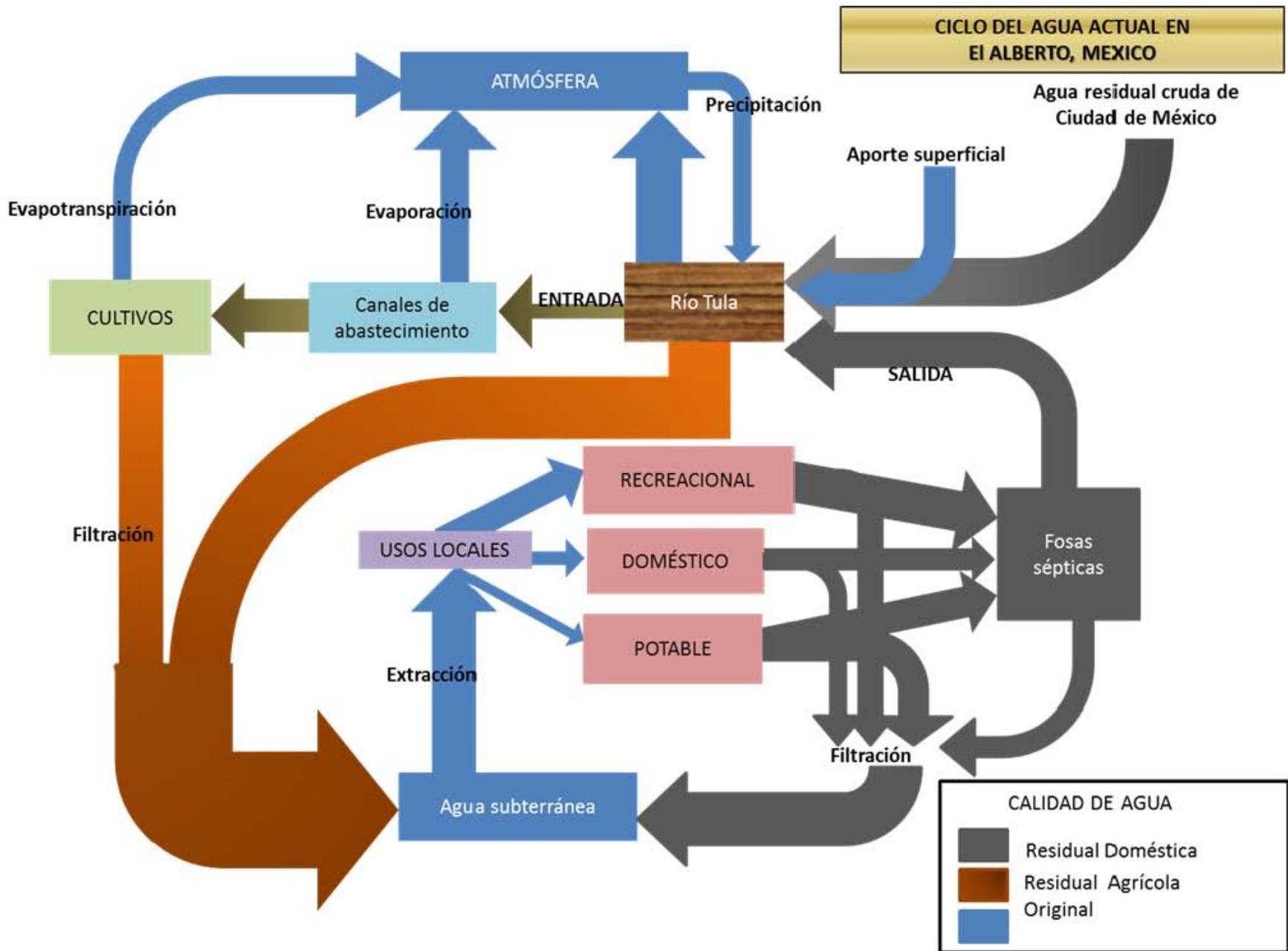


Fig. 43 Ciclo del agua actual, de El Alberto, México.

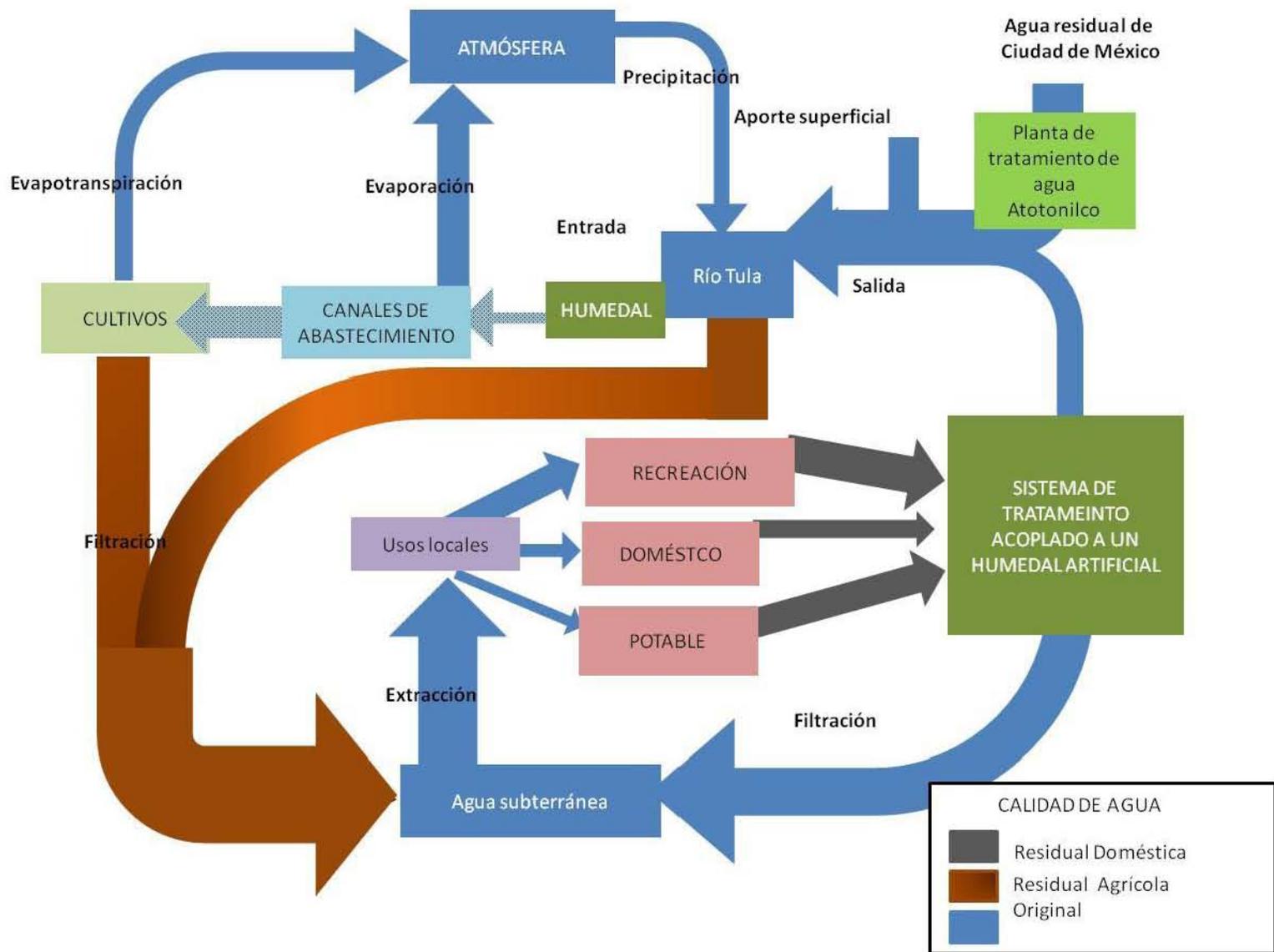


Fig. 44 Ciclo del agua de El Alberto, México, con las modificaciones propuestas como soluciones a la problemática actual de contaminación, que promueven beneficios ambientales y disminuye el riesgo a la salud de la gente que hace uso de este recurso.

Como se ha observado hasta aquí el pensamiento cultural sobre el recurso agua es determinante para emprender cualquier adecuación y manejo sustentable. Promover acciones determinantes y perennes a corto plazo requiere cambios metodológicos, tecnológicos, económicos y sociales que modifiquen sustancialmente el uso del agua.

En ambas localidades para lograr los cambios propuestos, es de vital importancia la intersección entre la comprensión científica del sistema y la acción concreta en el medio social real, que es lo que se busca hacer con este documento, tener bases experimentales respaldadas con un método científico sólido que permita la creación de estrategias que puedan ser fácilmente absorbidas, puestas en práctica y evaluadas tanto por los habitantes como por los tomadores de decisiones.

Conclusiones

- Ambas comunidades tienen una funcionalidad ecológica alterada, por modificación en el incremento de los flujos del agua y de nutrientes.
- El ciclo hidrológico de Abu Minqar se confirma que no corresponde al contexto ecológico. Existe una gran presión social por mantener un sistema artificial de este tipo que depende totalmente de la inyección económica y energética. Por lo tanto su función a largo plazo no es viable por ser altamente vulnerable y dependiente de estas dos variables.
- En el caso del ciclo hidrológico de El Alberto, el incremento del aporte de agua residual cruda y contaminantes emergentes, representan una potencial fuente de degradación del ecosistema a largo plazo así como riesgo a la salud pública y resiliencia ecológica.
- Consecuentemente la optimización sustentable del agua doméstica, agrícola y turística, requiere tecnificación y métodos *ad hoc* al agroecosistema local. Esto significa tomar la cantidad mínima indispensable y precisa para garantizar el buen funcionamiento del sistema que disminuya el reclamo actual. Además la presencia humana no debe significar una amenaza para la autodepuración del ecosistema, por lo tanto es necesario garantizar inversiones en la infraestructura de abastecimiento, saneamiento y reuso del agua.
- Los indicadores de sustentabilidad evaluados en el presente estudio, nos permiten afirmar que ninguna de las dos comunidades estudiadas cumplen en su totalidad los criterios de sustentabilidad y no se garantiza en ninguno de los casos el derecho humano al agua y al saneamiento lo que implica un riesgo a la salud de la población local.

Perspectivas y Recomendaciones

La presente investigación establece las bases científicas en el uso del agua que pueden permitir a los tomadores de decisiones establecer cambios que conlleven un beneficio encaminado a la sustentabilidad en cada caso. Es necesario ampliar este estudio con evaluación de fertilidad del suelo y acumulación de contaminantes, así como determinar el estado de la cobertura vegetal nativa e introducida para establecer la eficiencia de autodepuración del ecosistema.

Durante 2013 en Abu Minqar, se iniciaron trabajos sobre el aprovechamiento del agua residual en cultivos halófitos, así como producción de biogás y aprovechamiento de energía solar. Sin embargo estos esfuerzos son insuficientes si no existe una revisión total de las políticas gubernamentales para una mejor gestión y coordinación de la reubicación poblacional y reclamación del desierto.

En el caso de El Alberto, se recomienda hacer una evaluación de estos mismos indicadores, posterior a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua residual del Valle de México en Atotonilco, Hidalgo (2016).

Es indispensable un programa permanente de talleres sobre manejo de sus recursos naturales, particularmente el agua. Es necesario continuar la extensión de su red de abastecimiento y saneamiento que den cobertura total a la comunidad, así como recuperar suelos erosionados y áreas deforestadas para fortalecer la resistencia y resiliencia en el ecosistema. En este sentido los esfuerzos coordinados de la comunidad de El Alberto con la Facultad de Ciencias de la UNAM, han sido distinguidos con financiamiento por:

North American Partnership for Environmental Community Action (NAPECA) http://www.cec.org/Page.asp?PageID=122&ContentID=25727&SiteNodeID=1237&BL_ExpandID=1157 con el cual se pretende como objetivo general comprender, modificar y armonizar las actividades antrópicas de uso y explotación de los recursos de la comunidad. Especialmente se diseñará y construirá dos plantas de tratamiento de agua residual de tratamiento biológico (tanque Imhoff acoplado a un humedal artificial) que no requieren uso de energía.

Bibliografía

1. Ambroggi, R. P. (1966). Water under the Sahara. *Science America*, 214, 21-29.
2. Attia, B. (2009). *Assessment of vulnerability and adaptation of water resources to Climate Change in Egypt*. Obtenido de www.arabcouncil.org
3. Austin, A. T., Yahdjian, L., Stark, J. M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., & Schaeffer, S. M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141(2), 121-135.
4. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). Water quality for agriculture. En *FAO irrigation and drainage paper*.
5. Banco Mundial. (2009). *Global Development Finance: Charting a Global Recovery*. Washington: Banco Mundial.
6. Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). Climate change and water . *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.
7. Brown, L. R., & Kane, H. (1995). Full house: Reassessing the Earth's population carrying capacity. Earthscan.
8. Carey, R. O., & Migliaccio, F. (2009). Contribution of wastewater treatment plant effluence to nutrient dynamics in aquatic systems: A review. *Environmental management*, 44, 205-217.
9. Carpenter, S. R., Fisher, S. G., Grimm, N. B., & Kitchell, J. F. (1992). Global Change and Freshwater ecosystems. *Annual review of ecology and systematics*, 23, 119-139.
10. Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From metaphore to measurement: resilience to what to what? *Ecosystem*, 8(4), 765-781.
11. Cifuentes, E., Blumanthal, U., Ruiz-Palacios, G., Bennett, S., Quigley, M., Peasey, A., & Romero-Alvarez, H. (1993). Problemas de salud asociados al riesgo agrícola con agua residual en México. *Salud pública de México*, 35, 614-619.
12. Cifuentes, E., Blumenthal, U., Ruiz-Palacios, G., Bennett, S., & Peasey, A. (1994). Escenario epidemiológico del uso agrícola del agua residual: el Valle del Mezquital, México. *Salud Pública*, 36(1), 3-9.
13. Cohen, J. E. (1995). Population growth and Earth's Human Carring Capacity. *Science, New Series*, 269(5222), 341-346.
14. COMDA. (2014). *Coalición de organizaciones mexicanas por el derecho del agua*. Obtenido de <http://www.comda.org.mx>
15. CONAGUA. (2010). *Estadísticas del agua en México*. México: SEMARNAT.
16. CONAGUA. (2010). *Manifestación de Impacto Ambiental. Plaeación y proyectos de ingeniería*. 275.

17. CONAGUA. (2011). *Estadística del Agua en México*. México: SEMARNAT.
18. CONAGUA. (2012). Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua 2007-2012. En *Informe de la Coordinación General de proyectos especiales de abastecimiento de agua potable y saneamiento del Valle de México* (pág. 122). Area de Ingeniería.
19. CONAGUA/SEMARNAT. (2012). Situación de subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
20. DDC. (2013). Desert Development Center of the American University in Cairo.
21. Del Arenal, R. (1978). Carta hidrogeológica del área de Actopan-Ixmiquilpan estado de Hidalgo. *Revista 2, 1*, 98-103.
22. El Tahlawi, M. R., Farrag, A. A., & Ahmed, S. S. (2007). Groundwater of Egypt: "An environmental overview". *Environmental geology*, 55(3), 639-652.
23. EPA. (1996). *A guide to the biosolids risk assessment for the EPA part 503 rule*. EUA.
24. FAO. (2003). *Mejorar la tecnología de riego*. Obtenido de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp3.htm>
25. FAO. (2003). *Mejorar la tecnología de riego. Enfoques*.
26. FAO. (2013). *Water development and management unit*. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/water/issues/scarcity.html>
27. FAO-Aquastat. (2012). *Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural*. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/>.
28. Foro Económico Mundial (2015) *Reunión Anual*. Davos
29. Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (n.d.). Resilience and sustainable development: building adapting capacity in a world of transformatios. *Ambio*, 31(5).
30. Hamdy, A., Ragab, R., & Scarascia-Mugnozza. (2003). Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. *irrigation and drainage*, 52, 3-20.
31. Harivandi, M. A. (1999). Interpreting turfgrass irrigation water test results . *UCANR publications*.
32. Hynes, H. B. (1975). The stream and it's valley of Verhandlungen. *Internationale Vereinigung der Limnologie*, 19, 1-15.
33. INEGI. (2010). Población total con estimación y por sexo. En *Censo de Población y vivienda*.
34. Iturbide, I. R., & Porporato, A. (2004). Ecohydrology of water-controlled ecosystems: soil moisture and plant dynamics. *Cambridge University Press*.
35. Jimenez, B. (2007). Información y calidad del agua en México. *Trayectorias*(24), 41-56.

36. Jimenez, B., & Masari, M. (2004). El agua en el Valle de México. En *El Agua en México* (págs. 15-32).
37. Jonsson, M., & Malmqvist, B. (2003). Importance of species identity and number for process rates within different stream invertebrate functional feeding groups. *Journal of Animal Ecology*, 72(3), 453-459.
38. La Riviere, J. M. (1989). Treats to the world's water. *Scientific American*, 261(3).
39. Le-Minh, N., Khan, S. J., Drewes, J. E., & Stuetz, R. M. (2010). Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes. *Water Research*, 44, 4295-4323.
40. Lesser-Carrillo, L., Lesser-Illades, S., Arellanos-Islas, & González- Posadas, D. (2011). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(3), 323-336.
41. Mass, E. V., Donovan, T. T., & Francois, L. E. (1988). Salt tolerant of irrigated guayule. *Irrigation Sciences*, 199-211.
42. Mora-Ravelo, S. G., Gavi-Reyes, F., Tijerina-Chavez, L., Pérez-Moreno, J., & Peña-Cabriales, J. J. (2014). Evaluación de la recuperación del nitrógeno y fósforo de diferentes fuentes de fertilizantes por el cultivo de trigo irrigado con aguas residuales y de pozo. *Acta Agronómica*.
43. Muñóz, A. E. (21 de enero de 2014). La región más contaminada, presa Endhó. *La Jornada*, pág. 2.
44. MWRI. (2010). Integrated Water Resources Management Plane. En M. o. water, *Resources and irrigation*.
45. Naciones Unidas. (1972). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*. Estocolomo: Publicaciones de las Naciones Unidas, S.73.II.A.14.
46. NOM-001-CNA-2000. (17 de abril de 2002). *Conservación del recurso agua- que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*.
47. NOM-002-SEMARNAT-1996. (6 de enero de 1997). ¿Qué establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial*.
48. NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.
49. NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. DOF: 25/06/2012
50. Noy-Mer, I. (2012). Desert Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1973), 25-51.
51. Observación General No.15. (2002). El derecho al agua. *Comite de Naciones Unidad de derechos económicos, sociales y culturales*, (pág. 19).
52. Odum, E. P. (2007). The strategy of ecosystem development, An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Advancement of Sciencie*, 164(3877), 262-270.

53. OMS/UNICEF. (2000). *Informe sobre la evaluación mundial del abastecimiento del agua y el saneamiento en 2000*. Ginebra.
54. ONU/DAES. (1997). *Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo, Comisión sobre el desarrollo sostenible*. New York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas .
55. Organización Mundial de la Salud. (2014). *Objetivos de Desarrollo Mundial*.
56. Organización de las Naciones Unidas(1992). *Programa 21*. Rio de Janeiro:Naciones Unidas
57. Perló-Cohen, M. (2005). *¿Guerra por el agua en el Valle de México?: Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y El Estado de México*.
58. Quezada-Ramirez, M. F. (2008). *La migración hñahñú del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo*. México: CDI, Antropología Social.
59. Quiroga Martínez, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de America Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
60. Richards, A. (1995). Management strategies for coping with water scarcity: An exploration of issues. *Ministry of public works and water resource Delf Hydraulics EAC/RAND and RISA*.
61. RIGW/IWACO. (1988,1993). Hydrogeological map of Egypt Scale 1:200 000. Cairo.
62. Robertson, G. P., Hutson, M. A., Evans, F. C., & Tiedje, J. M. (1988). Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology*, 1517-1524.
63. Robinson, B. H. (2009). E-waste: An Assessment of global production and environmental impacts. *Sciences of the total environmental*, 408, 183-191.
64. Rodríguez-Solórzano, C. (2002) Diseño de indicadores por cuencas hidrográficas. México:Instituto Nacional de Ecología.
65. Rodriguez, D. A., Ruiz, R. M., & Ramirez , N. J. (2007). Aproximación a la determinación a los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénega. *Facultad de Ingeniería*, 40, 41-58.
66. Romero-Álvarez, H. (1997). Estudio de caso: El Valle del Mezquital. En R. Helmer, & H. Ivanildo, *Water pollution Control, A guide to the use of water quality management principles* (pág. 459).
67. Schubert , S., & Gupta, J. (2013). Comparing Global Coordination Mechanisms on Energy, Environment, and Water. *Ecology and Society*, 18(2), 22.
68. Schwinning, S., & Ehleringer, J. R. (2001). Water use tradeoffs and optimal adaptations to the pulsed driven arid ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(3), 464-480.

69. SEMARNAT. (2012). Disponibilidad de agua, reservas regionales y balance de agua nacional. *Compendio de estadísticas ambientales Indicadores claves de desempeño ambiental*, 6, 258-313.
70. Singh, N. K., Chillar, N., Banerje, B. D., Bala, Basu, M., & Mustafa, M. (2013). Organochlorine pesticide levels and risk of Alzheimer's disease in north indian population. *Human & Experimental toxicology*, 32(1), 24-30.
71. Thorweihe, U., & Heini, M. (2002). *Groundwater resources of the Nubia Aquifer system NE-Africa*.
72. UNECE/WHO. (2013). The equitable Access Score-card, supporting policy processes to achieve the human right to water and sanitation. En U. N. Organisation, *Protocol on water and health to the convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes* (pág. 60).
73. UNESCO. (12 de abril de 2013). *UN-Water*. Obtenido de <http://unwater.org>
74. Voeikov, V. (2001). Reactive oxygen species, water, photons and life. *Rivista di biologia*, 103(2-3), 321-342.
75. Vollenweider, R. A. (1971). *Scientific fundametal of eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. Paris: Organisation of Economics co-operetion and development .
76. Weinzierl, T., & Schilling, J. (2013). On demand, development and depencence: A Review of current and future implications of socioeconomic change for integrated water resource Management in the Okavango Catchment of Southern Africa. *Land*, 2(1), 60-80.
77. Werwer, A. M., Mahmoud, M. E., & Esmail, A. H. (2000). Groundwater quality of east El- Oweinat (Western Desert Egypt). *The first international conference for environmental hazards mitigation (ICEHM)*. Giza: Cairo University.
78. WHO/UNICEF. (2005). *Water for life: making it happens*. Francia.

Anexos

Encuesta

Localización COORDENADAS Norte_____ Oeste_____ Elevación _____

1.- ¿Cuántas personas viven actualmente en la casa? _____

2.- ¿Cuántas personas podrían llegar a vivir y en qué época del año sucede? _____

3.- ¿Cuál de los siguientes usos, considera que es en el que ocupa más agua?

- Aseo personal
- Limpieza de la casa
- Lavar platos

4.- ¿Qué tan frecuente usa los baños comunales?

- Una vez a la semana
- 2-3 veces a la semana
- Diario

5.- De donde obtienen el agua potable

- Potabilizadora
- Otro _____

4.- ¿Cuentan con servicio de alcantarillado?

SI NO

En caso de NO contar con alcantarillado

5.- ¿Qué se hace con el agua residual?

- Fosa séptica propia
- Otro _____

6.- Fosa séptica

¿Tipo de construcción? _____

¿Revestimiento? SÍ NO

¿Cuántos años tiene la fosa séptica?

- 1- 2 años
- 3- 5 años
- más de 5 años

7.- ¿Existe interés por tener servicio de alcantarillado?

SÍ NO

8.- ¿Le parece útil y positivo?

SÍ NO

Colección botánica de El Alberto, Ixmiquilpan, Hgo., Mex.

Número inventario/colecta	Nombre científico	Familia	Sitio de recolección	Coordenadas	Altitud (msnm)	Suelo	Manantiales presentes	Hábitat	Indicadora de perturbación	Área de origen	Estatus migratorio en México
1/36	<i>Arracacia aegopodioides</i> (Kunt) J. M.	Apiaceae		99°12.68 W 20°25.41 N	1897			Bosque húmedo, áreas alteradas	X		
2/93	<i>Tetramerium nervosum</i> Ness	Acanthaceae Juss.	M Obra de Toma	99°12.25 W 20°24.887N	1801		M Obra de Toma	Lugares perturbados y ambientes ruderales	X	Mesoamérica	Especie nativa
3/107	<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	M Lavaderos	99° 14.015 W 20°25.145 N	1763		M Lavaderos	Ruderal; además cultivada	X		Zonas cálidas de México
4/104	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	M Sifón	99°12.385 W 20°24.526 N	1801	Arcilloso café	M Sifón	En pastizales y matorrales, se distribuye en regiones tropicales y subtropicales. Suelos Húmedos En jardines, banquetas y lugares con abundante humedad. Distribución en bosque de pino-encino, bosque mesófilo y pastizales. Suelos fértiles y húmedos, también salobres.	X	América tropical y subtropical	Nativo
5/103	<i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell. Ex Benth	Umbelliferae	M Sifón	99°12.385 W 20°24.526 N	1802	Arcilloso café	M Sifón	En zonas inundables, vegetación riparia o ruderal. Notolera la sombra.	X	América	Nativo
6/99	<i>Pluchea symphytifolia/ Pluchea carolinensis</i> (Jacq.) G. Don	Compositae	M Sifón	99°12.385 W 20°24.526 N	1803	Arcilloso café	M Sifón	Es una planta de matorrales y pastizales xerófilos (secos),	X	Sur de E.U.A. hasta el norte de Sudamerica, islas del Caribe	Nativo
7/92	<i>Dicliptera peduncularis</i> Ness	Acanthaceae	M Obra de Toma	99°12.25 W 20°24.887N	1801		M Obra de Toma	Se encuentra en pendientes rocosas, orillas de caminos, a lo largo de arroyos, en lugares perturbados. Matorral xerófilo	X	México	Nativo
8/89	<i>Calowrightia parviflora</i> (Buckl.) Wassh.	Acanthaceae	M Obra de Toma	99°12.25 W 20°24.887N	1802		M Obra de Toma	Lugares perturbados; Bosque de pino-encino, bosque mesófilo.	X	México y Antillas a Sudamerica	Nativa
9/35	<i>Phytolacca icosandra</i>	Phytolaccaceae		99°12.68 W 20°25.41 N	1897			Bosque de pino-encino cerca de riachuelos.	X		
10/101	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	Asteraceae	M Sifón	99°12.385 W 20°24.526 N	1801	Arcilloso café	M Sifón		X		

Colección de El Alberto, Ixmiquilpan, Hgo., Mex.

Número inventario/colecta	Nombre científico	Familia	Sitio de recolección	Coordenadas	Altitud (msnm)	Suelo	Manantiales presentes	Hábitat	Indicadora de perturbación	Área de origen	Estatus migratorio en México
13/95	<i>Senecio salignus DC.</i>	Asteraceae	M Obra de Toma	99°12.25' W 20°24.887' N	1801		M Obra de Toma	Lugares perturbados y orillas de camino. En bosques de Abies, Pinus y Quercus, en matorrales xerófilos y praderas alpinas.	X	Desde el sur de Arizona hasta El Salvador y Honduras	Nativo
14/99	<i>Nicotiana glauca Graham</i>	Solanaceae	M Obra de Toma	99°12.25 W 20°24.887N	1800		M Obra de Toma, M Lavaderos, M Río	Ruderal, común a orillas de caminos y carreteras, a lo largo de ríos y arroyos, cerca de cultivos y patios de casas. Selva baja caducifolia, bosque de pino-encino, matorral xerófilo, zonas áridas	X	América tropical y propablemante Sudamérica	Probablemente Exótica
15/97	<i>Polygonum acuminatum Kunt</i>	Polygonaceae	M Obra de Toma	99°12.25 W 20°24.887N	1801		M Obra de Toma	Generalmente en pantanos		México a Sudamérica y las Antillas	Nativo
16/29	<i>Asdepias curassauca L.</i>	Asclepiadaceae		99° 12.816' W 20°25.136' N	1910			Ruderal en sitios húmedos. Selva baja caducifolia y Selva alta perennifolia	X	América	Nativo