



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Estrategia de Manejo y Conservación de Recursos Hídricos para la Zona de Influencia Norte de Sian Ka'an

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Judith Adriana Morales López

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar

SINODALES

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar
Presidente

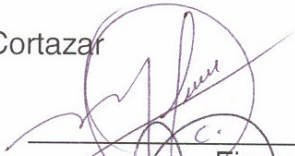
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Secretario


M. en C. Gonzalo Merediz Alonso
Vocal

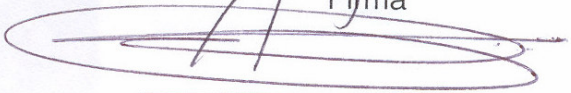
Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas
Suplente


M. en C. Alberto Hernández Sánchez
Suplente

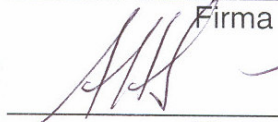
Biól. Jaime Angeles Angeles
Director de la Facultad de Ciencias
Naturales


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto 2007
México

RESUMEN

La zona de influencia norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an se caracteriza por tener gran variedad de ecosistemas terrestres, costeros y marinos conectados por un sistema hidrológico único. Su mantenimiento y conservación depende del abastecimiento de agua en cantidad suficiente y calidad adecuada. Actualmente se encuentran gravemente amenazados por el manejo inadecuado de los recursos, el acelerado desarrollo urbano y el poco conocimiento de la geohidrología local. Al área de estudio la caracteriza su clima cálido-subhúmedo con alta precipitación y evapotranspiración, permitiendo la existencia de vegetación abundante y suelos poco profundos no aptos para agricultura; contiene comunidades rurales pequeñas y rancherías, y Tulum una ciudad en expansión, sin las condiciones de infraestructura sanitaria adecuada amenazando así, la reserva de agua dulce subterránea que actualmente se explota. El acuífero, extremadamente vulnerable a la contaminación (Método SINTACS), en la franja de 10km de la costa y de vulnerabilidad alta al resto de la zona de estudio, presenta calidad de agua para uso potable aceptable y dudoso para su consumo sin purificación, por la presencia de coliformes. La aplicación de los elementos de manejo integrado de cuencas en Quintana Roo descarta el uso de cuencas superficiales como unidad de manejo, requiriendo el analizar unidades alternas que incluyan los flujos de agua subterráneos. Sin embargo otros elementos como la participación comunitaria, para la elaboración de diagnósticos participativos y propuestas de soluciones consensuadas son herramientas útiles que apoyan el manejo adecuado de recursos y mejoran la calidad de vida de los habitantes. La estrategia de manejo hídrico propuesta integra elementos de investigación de la geohidrología local; modificación del marco normativo, en los límites de contaminantes de descargas de aguas residuales, las especificaciones para el establecimiento de rellenos sanitarios y la promoción del manejo del agua a nivel superficial; promueve la educación, a través de la valorización del recurso agua, y la participación social en la toma de decisiones; e implementación de proyectos comunitarios con tecnologías alternativas como captación pluvial, baños secos, biofiltros, humedales artificiales, composta, separación y reciclaje, huertos de traspatio, estufas ahorradoras de leña y reforestación.

(Palabras Clave: estrategia, manejo, conservación, hídrico, Quintana Roo)

SUMMARY

The northern influence zone of the Sian ka'an Biosphere reserve is characterized by a number of terrestrial, coastal and marine ecosystems all connected by a unique hydrological system. Its maintenance and conservation depends on the supply of water in adequate quantity and quality. Presently, ecosystems are threatened by inadequate management of resources, accelerated urban development and insufficient knowledge of local geo hydrology. The area of study is characterized by its tropical climate with high precipitation and evaporation, allowing the existence of abundant vegetation and the presence of a thin soil not suitable for agriculture. Small rural communities and ranches are present in the area; however, Tulum is the only city that displays major development; the majority of which is without sanitary infrastructure thus threatening the underground fresh water reserve, the main source of fresh water exploited at the moment. The aquifer was found to be extremely vulnerable to contamination (SINTACS Method), in the 10km band of the coast and highly vulnerable further inland. Water quality is acceptable for potable use and doubtful for its consumption without purification, due to presence of coliforms. The application of integrated watershed management in Quintana Roo discards the use of superficial river basins as a management unit, requiring analysis of alternative units that include the underground water flows. Nevertheless other elements like community participation, participative diagnoses and proposals of development projects, are useful tools that support the suitable management of resources and improve the quality of life of the inhabitants. The hydrologic management strategy proposed Integrated elements of research of the local geo hydrology; modification of the normative frame, in terms of the limits of concentration of pollutants in residual waters, specifications for the establishment of landfills and promotion of the use, treatment and reuse of water at a surface level; the strategy promotes education through a process of valorization of water and community participation in decision making and implementation of community projects applying alternative technologies such as ecological dry toilets, bio-filters, artificial wetlands, pluvial collection, compost, waste separation and recycling, home orchards, stoves that use less wood and reforestation.

“El recurso agua no puede seguir siendo considerado como un bien de explotación sin límites, con carácter renovable, sin apreciar el valor de los ecosistemas que de ella dependen”.

Jack Stern

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer ampliamente el apoyo financiero otorgado por el Fondo Mundial Para la Naturaleza WWF, Amigos de Sian Ka'an A.C., la Coordinación de la Maestría y la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad para la realización de este trabajo.

Merecen un especial agradecimiento mis padres María Antonieta López y Tomás Morales, quienes siempre me han apoyado para seguir estudiando y superándome. A mis amigos que hicieron que estos dos años fueran muy divertidos. A mi Director de tesis Dr. Miguel Ángel Domínguez, mis asesores Dr. Luís Hernández, M. en C. Gonzalo Merediz, M. en C. Alberto Hernández y Dra. Mahinda Martínez por su paciencia, su tiempo y por compartir sus conocimientos conmigo.

Al Dr. Luís Hernández que sin conocerme me dio la oportunidad de trabajar en sus proyectos, para poder seguir estudiando de igual forma muchas gracias por, Rosa Loreto, Felipe Correa y Marco Lazcano. Muchísimas gracias a Yolanda Pantoja por todo el apoyo para los trámites de titulación.

Gracias por su amistad y apoyo y por recibirme en sus casas facilitando mis estudios y mi trabajo de tesis a Marisol Torres, Hatumi Hirano, Claudia Rivera y Yura, Olga Lingard, Liliana Rodríguez, Juan Manuel Rivas y Gabriel Vázquez. Por su apoyo para el trabajo en campo a Dulce Montes y a Gonzalo Merediz.

Quiero agradecer también las asesorías y comentarios del Dr. Mario Rebolledo, Salvador Contreras, Víctor Larragiube y Newton Eristhee; Por la Información que me proporciono Amigos de Sian Ka'an A.C. Gonzalo Merediz y Miriam Reza; la Universidad Técnica de Dinamarca en especial a Bibi Neuman, THANK YOU A LOT BIBI!, Malene Rahbek, y Andrea Tampieri; y a las instituciones SAGARPA, CNA, CAPA, COESPO, INEGI y CONANP.

INDICE

RESUMEN	II
SUMMARY	III
AGRADECIMIENTOS	V
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS	1
1 INTRODUCCION	4
2 ANTECEDENTES	5
3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	8
4 OBJETIVO GENERAL	8
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
5 METODOLOGÍA	9
5.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
5.2 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
5.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO	11
5.3.1 Determinación del uso actual del recurso agua.....	11
5.3.2 Balance hidrológico.....	12
5.3.2.1 Precipitación.....	13
5.3.2.2 Escurrimiento	14
5.3.2.3 Evapotranspiración.....	16
5.3.2.4 Infiltración.....	17
5.3.2.5 Método de interpolación de datos.....	17
5.3.3 Vulnerabilidad del Acuífero	21
5.3.3.1 DRASTIC	26
5.3.3.2 SINTACS	28
5.3.4 Calidad del agua	32
5.4 DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA	35
5.5 EVALUACIÓN DE LA PERTINENCIA DE LOS ELEMENTOS DE GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS PARA QUINTANA ROO	36
5.6 ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL AGUA Y ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO	36

6	RESULTADOS	37
6.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	37
6.1.1	Caracterización Física	37
6.1.1.1	Localización	37
6.1.2	Características Morfológicas	38
6.1.2.1	Geología	38
6.1.2.2	Fisiografía	40
6.1.2.3	Clima	41
6.1.2.4	Suelos	45
	Transecto de la Cuenca	47
6.1.2.5	Hidrología	48
6.1.2.5.1	Hidrología Superficial	48
6.1.2.5.2	Hidrología Subterránea	49
6.1.2.6	Vegetación	50
6.1.2.7	Fauna	53
6.1.2.8	Áreas Naturales Protegidas	54
6.1.2.8.1	Reserva de la Biosfera Sian Ka'an	54
6.1.2.8.2	Parque Nacional Tulum	56
6.1.3	Caracterización Social	58
6.1.3.1	Historia	58
6.1.3.2	Población	58
6.1.3.3	Vivienda	62
6.1.3.4	Alimentación	63
6.1.3.5	Salud	63
6.1.3.6	Servicios Públicos	64
6.1.3.7	Educación	67
6.1.3.8	Recreación y Religión	69
6.1.3.9	Organización	70
6.1.4	Caracterización Económica	71
6.1.4.1	Población Económicamente Activa	71
6.1.4.2	Tenencia de la Tierra	73
6.1.4.3	Migración	74
6.1.4.4	Marginación	76
6.1.4.5	Financiamiento	77
6.1.4.6	Destino de la Producción	77
6.1.4.7	Sistemas Productivos	78
6.1.4.7.1	Agrícola	79
6.1.4.7.2	Pecuario	79
6.1.4.7.3	Apícola	80
6.1.4.7.4	Turismo	80
6.2	ESTUDIO HIDROLÓGICO	83
6.2.1	Determinación del Uso Actual del Recurso	83
6.2.2	El Balance Hidrológico	96
6.2.2.1	Precipitación	96
6.2.2.2	Evapotranspiración	98

6.2.2.3	Escurrimiento	100
6.2.2.4	Infiltración.....	102
6.2.3	Vulnerabilidad del Acuífero	106
6.2.3.1	DRASTIC	106
6.2.3.1.1	Profundidad del nivel estático.....	106
6.2.3.1.2	Infiltración.....	108
6.2.3.1.3	Material del acuífero.....	109
6.2.3.1.4	Tipo de suelo.....	111
6.2.3.1.5	Topografía.....	112
6.2.3.1.6	Material de la zona no saturada.....	113
6.2.3.1.7	Conductividad Hidráulica.....	115
6.2.3.2	SINTACS	119
6.2.3.2.1	Profundidad del lente de agua.....	128
6.2.3.2.2	Acción de la infiltración efectiva.....	129
6.2.3.2.3	Capacidad de atenuación de la zona no saturada.....	130
6.2.3.2.4	Atenuación por el tipo de suelo.....	131
6.2.3.2.5	Características hidrogeológicas del acuífero.....	131
6.2.3.2.6	Rango de conductividad hidráulica del acuífero.....	132
6.2.3.2.7	El papel hidrológico de la pendiente topográfica.....	133
6.2.3.2.8	Resultados de vulnerabilidad del acuífero modelo SINTACS	134
6.2.4	Calidad del Agua.....	138
6.3	DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA.....	150
6.4	EVALUACIÓN DE LA PERTINENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS PARA QUINTANA ROO	153
6.4.1	Delimitación de la microcuenca.....	153
6.4.2	Análisis y participación de actores	154
6.4.3	Caracterización biofísica y socio económica	156
6.4.4	Elaboración del diagnóstico de la problemática a través de un proceso participativo.....	157
6.4.5	Propuestas de proyectos y alternativas de soluciones	158
6.4.6	Manejo participativo de los recursos hídricos y colaboración interinstitucional	159
6.5	ESTRATEGIAS DE MANEJO INTEGRADO DEL AGUA Y ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO.....	
6.5.1	INVESTIGACION.....	162
6.5.2	MARCO LEGAL.....	164
6.5.3	EDUCACION	165
6.5.4	IMPLEMENTACION.....	167
6.6	FICHAS DE PROYECTOS COMUNITARIOS.....	168
6.6.1	Técnicas alternativas de manejo del agua y saneamiento.....	168
6.6.1.1	Captación de agua de lluvia	168
6.6.1.2	Fosas sépticas o baños secos composteros	179

6.6.1.3	Reutilización de aguas grises tratadas por biofiltros para huerto de traspatio	186
6.6.1.4	Humedales artificiales de flujo subsuperficial	191
6.6.1.5	Acolchado	195
6.6.2	Manejo de residuos sólidos:	196
6.6.2.1	Composta.....	196
6.6.2.2	Separación de residuos sólidos.....	201
6.6.3	Conservación de áreas de captación y selvas.....	204
6.6.3.1	Promoción de huertos de traspatio.....	204
6.6.3.2	Estufas ahorradoras de leña	212
7	DISCUSIONES.....	216
7.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	216
7.2	ESTUDIO HIDROLÓGICO	218
7.3	DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA	228
7.4	EVALUACIÓN DE LA PERTINENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS PARA QUINTANA ROO	228
7.5	ESTRATEGIAS DE MANEJO INTEGRADO DEL AGUA Y ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO.....	231
8	CONCLUSIONES.....	236
	REFERENCIAS	238
	BIBLIOGRAFÍA CITADA	238
	CAPAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	247
	SITIOS DE INTERNET CONSULTADOS	247
	ACRÓNIMOS.....	250
	APENDICES	251
	APÉNDICE I. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	251
	APÉNDICE II. ESPECIES MÁS COMUNES QUE SE ENCUENTRAN EN LOS HUERTOS DE MÉXICO.....	254
	APÉNDICE III LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS	258
	APÉNDICE IV ENCUESTA	259

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. FORMULAS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO, DEPENDIENDO DEL TIPO Y USO DEL SUELO, PARA K MAYOR Y MENOR DE 0.15 (CNA,2000).....	15
2. VALORES DE K EN FUNCIÓN DEL TIPO Y USO DE SUELO (CNA,2000).....	15
3. MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO (AUGE, 2004).....	25
4. PARÁMETROS UTILIZADOS Y PESOS ASIGNADOS PARA EL CALCULO DEL ICA, DEBIDO A LA DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA.....	33
5. PARÁMETROS Y PESOS UTILIZADOS EN EL CALCULO DE ICA (LEON SIN AÑO).....	35
6. TRANSECTO DE LA CUENCA, ELABORADO EN BASE A OBSERVACIONES EN VISITA DE CAMPO 2006.	47
7. ESPECIES ARBÓREAS DOMINANTES DE LA SELA MEDIANA SUBPERENIFOLIA.....	51
8. LISTA DE ESPECIES OBSERVADAS EN HUMEDAL POR FAMILIA, NOMBRE COMÚN Y NOMBRE CIENTÍFICO, (PDUT, 2006).....	52
9. TIPOS DE VEGETACIÓN Y PORCENTAJES DE COBERTURA EN LA CUENCA ESTIMADO EN BASE A LOS DATOS DE LA CAPA DE CONABIO, (2006), EN PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT.	53
10. NO DE HABITANTES EN LAS POBLACIONES DE LA CUENCA TULUM, DATOS DEL CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA INEGI 2000, CONTEO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA INEGI 2005.....	59
11. COMPARATIVO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LAS DIFERENTES LOCALIDADES RECOPIACIÓN DE DIFERENTES FUENTES (INEGI, 2000;INEGI 2005; PORTAL GOBIERNO, 2006, COESPO,2006).....	60
12. PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS DEL CONSEJO ESTATAL DE POBLACIÓN AL 2006.....	60
13. PROYECCIÓN 2006 A 2010 PARA EL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD (COESPO, 2006).....	61
14. POBLACIÓN TOTAL MUNICIPIO E ÍNDICES DE MASCULINIDAD Y FEMINIDAD (COESPO, 2006).....	61
15. POBLACIÓN SEGÚN LENGUA INDÍGENA EN LAS COMUNIDADES DE LA CUENCA TULUM (INEGI, 2005).....	62
16. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS VIVIENDAS DE LA CUENCA TULUM (INEGI, 2000).....	62
17. COMBUSTIBLES PARA COCINAR Y SERVICIOS EXISTENTES EN LAS VIVIENDAS DE LA CUENCA TULUM (INEGI,2000).....	63
18. POBLACIÓN DERECHOHABIENTE A SERVICIO DE SALUD (INEGI, 2005).....	64
19. NÚMERO DE ESCUELAS POR GRADO ESCOLAR EN SOLIDARIDAD (PORTAL GOBIERNO, 2006).....	68
20. POBLACIÓN SEGÚN CONDICIÓN DE ALFABETISMO EN LA CUENCA (INEGI, 2005).....	68
21. POBLACIÓN SEGÚN GRADO DE INSTRUCCIÓN EN LA CUENCA (INEGI, 2000).....	68
22. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPAMIENTO CULTURAL Y DEPORTIVO EN LAS COMUNIDADES DE LA CUENCA (UQROO, 2005).....	70
23. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN SEGÚN RELIGIÓN (INEGI, 2000).....	70
24. POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA E INACTIVA PARA QUINTANA ROO (PDUT, 2006).....	71
25. POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA E INACTIVA PARA SOLIDARIDAD (COESPO, 2006).....	72
26. TENENCIA E LA TIERRA DE LA CUENCA.....	74
27. LISTADO DE EJIDOS EN LA CUENCA.....	74
28. POBLACIÓN NACIDA EN SOLIDARIDAD, CENSO 1990 Y 2000 (PDUT,2006).....	75
29. POBLACIÓN NACIDA Y RESIDENTE DE LA CUENCA TULUM (INEGI, 2000).....	76
30. ÍNDICE Y GRADO DE MARGINACIÓN PARA EL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD (COESPO, 2006).....	76
31. USO ACTUAL DEL SUELO PARA MACARIO GÓMEZ Y FRANCISCO UH MAY (REGISTRO AGRARIO NACIONAL EN UQROO, 2005).....	78
32. ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE SOLIDARIDAD, CENSO ECONÓMICO INEGI 2003.....	78
33. ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LA CUENCA (UQROO, 2005).....	79
34. ACTIVIDAD PECUARIA EN LA CUENCA (UQROO, 2005).....	80
35. ACTIVIDAD APÍCOLA EN LA CUENCA (UQROO, 2005).....	80
36. INDICADORES TURÍSTICOS PARA LA RIVIERA MAYA (UQROO, 2005).....	81
37. ESTABLECIMIENTOS HOTELEROS EN EL CENTRO DE POBLACIÓN TULUM (UQROO, 2005).....	81
38. ACTIVIDADES DE ECOTURISMO EN COMUNIDADES (UQROO, 2005).....	82
39. SECTORES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN TULUM (CAPA, 2005).....	86

Tabla

Página

40.	VOLÚMENES DE AGUA EXTRAÍDOS POR COMUNIDAD (CAPA, 2005)	89
41.	VIVIENDAS CON AGUA POTABLE, DRENAJE Y SANITARIOS EN LA CUENCA (INEGI, 2005)	92
42.	PROGRAMA DE RECOLECCIÓN DE BASURA, SUBDIRECCIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES DE TULUM, (H. AYUNTAMIENTO DE SOLIDARIDAD, 2006)	95
43.	RESULTADOS DE BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO PARA LA CUENCA TULUM	105
44.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA PROFUNDIDAD DEL AGUA POR DRASTIC	108
45.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA LA INFILTRACIÓN POR DRASTIC.....	109
46.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA EL MATERIAL DEL ACUÍFERO.....	109
47.	RANGOS Y PUNTAJES ASIGNADOS AL MATERIAL DEL SUELO POR DRASTIC	111
48.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA LA PENDIENTE POR DRASTIC	112
49.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA EL MATERIAL DE LA ZONA NO SATURADA POR DRASTIC 115	
50.	VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA ENCONTRADOS PARA LA ZONA (CONAGUA, 2005 Y NEUMAN & RAHBEK, 2006).....	116
51.	RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS PARA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA POR DRASTIC.....	116
52.	RANGOS Y MULTIPLICADORES DE PESO PARA DRASTIC	117
53.	RANGOS DE VULNERABILIDAD	117
54.	ÍNDICE DRASTIC MEDIO Y % QUE REPRESENTAN DEL PUNTAJE GENERAL.....	117
55.	COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN (SCT, 2004 Y CUCCHI, 2003)	129
56.	DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE PUNTAJES PARA LA ZONA NO SATURADA SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS EN LA CUENCA.....	131
57.	PUNTAJE ASIGNADO A LAS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS PRESENTES EN LA CUENCA PARA LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	133
58.	MULTIPLICADORES DE PESO UTILIZADOS PARA CADA PARÁMETRO SINTACS (CIVITA EL T AL, 2004 Y CUCCHI <i>ET AL</i> , 2003).....	134
59.	POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA PARA USO POTABLE (CAPA, 2006)	138
60.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA DE LOS POZOS DE EXTRACCIÓN PARA USO POTABLE DE LA CUENCA (CAPA, 2006)	139
61.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA CUENCA (CAPA, 2006)	140
62.	CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA SALINIDAD(UPRM, 2007)	141
63.	CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA CUENCA (CAPA, 2006)	141
64.	RESULTADOS ICA PARA LA CUENCA TULUM.....	142
65.	MEDIDAS ACONSEJABLES PARA EL USO DEL AGUA CONSUMO HUMANO SEGÚN EL RANGO ICA OBTENIDO (LEÓN SIN AÑO)	143
66.	DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA DE LA CUENCA	150
67.	ESTIMACIONES DE DEMANDA DE AGUA MENSUAL EN LITROS POR PERSONA POR DÍA EN BASE A DATOS CAPA, (2005)	170
68.	CONSUMO DE AGUA POR COMUNIDAD LITROS/PERSONA/DÍA EN BASE A DATOS (CAPA, 2005).....	170 171
69.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA DIFERENTES MATERIALES.....	172
70.	PROMEDIO DE HABITANTES POR VIVIENDA (INEGI 2005).....	173
71.	CONSUMO PROMEDIO DE AGUA EN LITROS POR HABITANTE POR DÍA (ESTIMADO EN BASE A DATOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA CAPA).....	173
72.	DATOS DE ESTIMACIÓN DE DEMANDA MENSUAL DE AGUA PARA LA CUENCA (M ³)	174
73.	DATOS DE ESTIMACIÓN DE OFERTA MENSUAL DE AGUA EN VIVIENDAS CON TECHOS DE MATERIAL (M ³)	174
74.	DATOS DE ESTIMACIÓN DE OFERTA MENSUAL DE AGUA EN VIVIENDAS CON TECHOS DE PAJA (M ³).....	174
75.	VOLUMEN DE AGUA POSIBLE DE CAPTAR Y % QUE REPRESENTA DEL CONSUMO EN 2005, PARA LAS CUATRO COMUNIDADES DE LA CUENCA	175
76.	VOLUMEN DE AGUA POSIBLE DE CAPTAR Y % QUE REPRESENTA DEL CONSUMO EN 2005, PARA LAS CUATRO COMUNIDADES DE LA CUENCA	176
77.	PRESUPUESTO Y MATERIALES PARA COLECTOR DE AGUA DE LLUVIA POR HOGAR	178
78.	POSIBLES FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA INSTALAR SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	178
79.	MATERIA ORGÁNICA RECOMENDABLE PARA AGREGAR AL SES (CASTILLO, 2002)	184
80.	CARACTERIZACIÓN DE AGUAS GRISAS EN EL HOGAR EN % Y LTS/HAB/DÍA	186

Tabla**Página**

81.	ESPECIES PARA UTILIZAR EN LA JARDINERA	188
82.	RELACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS FILTRANTES UTILIZADOS EN HUMEDALES ARTIFICIALES (LUNA, 2004).....	192
83.	PROCESO POR EL CUAL SE ELIMINAN LOS DIFERENTES CONTAMINANTES (LAHORA, SIN AÑO)	193
84.	DIMENSIONES DEL SISTEMA DE FILTRO ACOLCHADO	195
85.	MATERIA ORGÁNICA RICA EN NITRÓGENO Y CARBONO MATERIA ORGÁNICA SUAVE/HÚMEDA Y FIBROSA/SECA (TERRAMOR, 2007).....	197
86.	FACTORES QUE CONDICIONAN LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE (NAVARRO, SIN AÑO)	198
87.	POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOSTA (NAVARRO SIN AÑO) ...	200
88.	CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SEGÚN SU ORIGEN (GRANADO, 2003).....	202
89.	DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS CLASIFICADOS (NO MAS BASURA , 2007)	203
90.	EMPRESAS QUE SE DEDICAN AL RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN QUINTANA ROO (DATOS DE 2006) (MONTES, POR PUBLICAR)	203
91.	USO DE LEÑA EN COMUNIDADES RURALES EN QUINTANA ROO (UQROO, 2002)	212

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, CUENCA TULUM, DELIMITACIÓN DE CUENCAS PROYECCIÓN UTM Z16, (ASK, 2006, UAQ, 2006)	10
2. ENCUESTAS REALIZADAS EN LAS COMUNIDADES DE FRANCISCO UH MAY, MACARIO GÓMEZ, JOSÉ MA. PINO SUÁREZ Y TULUM, MUNICIPIO SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, EN NOVIEMBRE DE 2006	12
3. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, PROYECCIÓN UTM 27, Z16, (CNA,2006)	13
4. PLUVIÓMETRO FUENTE: URL: HTTP:// VPPX134.VP.EHU.ES/MET/HTML/DICCIO/INDICE.HTM 02/0106	14
5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DIFERENTES MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADOS PARA LOS DATOS METEOROLÓGICOS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN Y SU DIFERENCIA EN RELACIÓN A LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (DATOS BASE CNA, 2005)	16
6. PANTALLA DE PROGRAMA PARA LA APLICACIÓN DE INTERPOLACIÓN IDW DE ARCVIEW VERSIÓN 3.1	20
7. PANTALLA DE PROGRAMA PARA LA APLICACIÓN DE INTERPOLACIÓN SPLINE DE ARCVIEW 3.1	20
8. MODELO CARTOGRÁFICO MÉTODO DRASTIC	27
9. RANGOS Y PUNTAJES ASIGNADOS A LA PROFUNDIDAD DEL AGUA POR EL MÉTODO SINTACS	29
10. RANGOS Y PUNTAJES PARA LA INFILTRACIÓN ASIGNADOS POR SINTACS (CIVITA <i>ET AL</i> , 2004)	30
11. RANGOS Y PUNTAJES ASIGNADOS PARA ATENUACIÓN DE LA ZONA NO SATURADA (CIVITA <i>ET AL.</i> , 2004)	30
12. RANGOS Y PUNTAJES ASIGNADOS A LA ATENUACIÓN POR TIPO DE SUELO, (CIVITA <i>EL AL</i> , 2004).....	31
13. RANGOS Y PUNTAJES ESTABLECIDOS POR SINTACS PARA LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO (CIVITA, <i>ET AL.</i> , 2004)	31
14. RANGOS Y PUNTAJES ASIGNADOS POR SINTACS PARA LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (CIVITA <i>ET AL</i> , 2004).....	32
15. GRAFICAS UTILIZADAS PARA LA ESTIMACIÓN DE Q _i DE LOS PARÁMETROS CONIFORMES FECALES, PH, CAMBIO DE TEMPERATURA, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, TURBIDEZ Y NITRATOS, (SNET, SIN AÑO)	34
16. VISTA HORIZONTAL DE LA ZONA QUE ABARCA LA CUENCA TULUM, INCLUYENDO A LAS COMUNIDADES PRINCIPALES, FRANCISCO UH MAY, MACARIO GÓMEZ, JOSÉ MA. PINO SUÁREZ Y TULUM, (GOOGLE EARTH, 2006)	37
17. TIPOS DE CLIMA DE LA CUENCA TULUM, AW2 Y AW1, PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBER (CONABIO, 2006).....	42
18. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA (CNA, 2006)	42
19. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA (CNA, 2006)	42
20. HURACÁN WILMA ,OCTUBRE 2005.....	44
21. TIPO DE SUELOS EN LA CUENCA TULUM, PROYECCIÓN UTM 27, ZONA 16, (ASK, 2006).....	46
22. FISIOGRAFÍA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, INCLUYENDO LA CUENCA TULUM, PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT, (CONABIO, 2006)	41
23. LAGUNA NOPALITOS, ADYACENTE A LA COMUNIDAD DE JOSÉ MA. PINO SUÁREZ.....	48
24. IMÁGENES DE CENOTES DENTRO DE LA CUENCA.....	49
25. GEOLOGÍA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, RECUADRO ROJO UBICACIÓN DE LA CUENCA TULUM, (MODIFICADO DE WEIDIE, 1985 EN BEDDOWS, 2004)	40
26. TIPOS DE VEGETACIÓN EN LA CUENCA TULUM, PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT, (CONABIO, 2006)	52
27. UBICACIÓN DEL POLÍGONO DEL PARQUE NACIONAL TULUM, (ASK, 2006).....	57
28. DISCO MONOLÍTICO MAYA, (POTAL DEL GOBIERNO DE QUINTANA ROO, 2006)	58
29. LOCALIDADES, RANCHERÍAS Y SERVICIO TURÍSTICOS EN LA CUENCA TULUM (CONABIO, 2005)	60
30. PIRÁMIDE DE EDADES PARA EL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD (COESPO, 2006).....	61
31. CROQUIS DE LA LOCALIDAD FRANCISCO UH MAY (UQROO,2005).....	65
32. CROQUIS DE LA LOCALIDAD MACARIO GÓMEZ (UQROO, 2005)	65

Figura	Página
33. PLANO DE DESARROLLO DE TULUM (CATASTRO DE TULUM ,2005)	66
34. MATRÍCULA ESCOLAR DE QUINTANA ROO (PORTAL GOBIERNO, 2006)	67
35. OCUPACIÓN DE LA POBLACIÓN POR SECTOR PRODUCTIVO (PORTAL GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO, 2006)	72
36. TENENCIA DE LA TIERRA, PROYECCIÓN UTM 27, ZONA 16 (ASK, 2006)	73
37. GRADO DE MARGINACIÓN DE CADA COMUNIDAD EN LA CUENCA.....	76
38. AFLUENCIA TURÍSTICA EN EL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD (COESPO, 2006)	82
39. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LAS COMUNIDADES	83
40. PIPAS PARA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN TULUM.....	83
41. USO DEL AGUA EN UNA FAMILIA DE LA COMUNIDAD MACARIO GÓMEZ	84
42. USUARIOS DEL AGUA EN LA CUENCA	85
43. UBICACIÓN DE LOS POZOS DE EXTRACCIÓN	86
44. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA TULUM (CAPA, 2006)	87
45. VOLÚMENES FACTURADOS DE AGUA POR SECTOR (CAPA, 2005)	88
46. VOLÚMENES FACTURADOS DE AGUA POR SECTOR EN LA LOCALIDAD TULUM (CAPA, 2005).....	88
47. VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN DE AGUA POR POZO EN TULUM (CAPA, 2005) ¹	89
¹ LOS DATOS DEL MES DE JULIO QUE LA CAPA ENTREGÓ SE ELIMINARON POR QUE SON VOLÚMENES MUY PEQUEÑOS Y EVIDENTEMENTE NO SE REGISTRARON CORRECTAMENTE	89
48. VOLUMEN DE EXTRACCIÓN DE AGUA POR POZO PARA LAS COMUNIDADES DE FRANCISCO UH MAY, MACARIO GÓMEZ Y PINO SUÁREZ (CAPA, 2005).....	90
49. ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LAS COMUNIDADES.....	91
50. EJEMPLO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA QUE SE REALIZA ACTUALMENTE (A) Y EJEMPLO DE DESPERDICIO DE RECURSO POTENCIAL PARA SU CAPTACIÓN(B).....	91
51. TIRADEROS DE BASURA A LA ORILLA DE LA CARRETERA TULUM COBÁ	94
52. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA LA CUENCA TULUM	97
53. EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA ANUAL PARA LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	99
54. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL Y VALORES DE FACTOR K PARA LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	101
55. ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL DE LA CUENCA TULUM.....	102
56. INFILTRACIÓN MEDIA ANUAL PARA LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	104
57. (NEUMA & RAHBEK, 2006) DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RECARGA PROMEDIO ANUAL (MM/AÑO) CONSIDERANDO QUE LA RECARGA ES EL 30% DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL MEDIA EN BASE A DATOS DEL IWMI (2006).	104
58. INTERPRETACIÓN DEL CICLO DEL AGUA, PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL DE CAPA EN COMUNIDAD DE FRANCISCO UH MAY.....	105
59. VARIACIÓN DE LOS APROVECHAMIENTOS CENSADOS (CONAGUA, 2005)	106
60. DESCRIPCIÓN DEL LENTE DE AGUA DULCE, INTERFASE SALINA Y AGUA SALADA (CONAGUA, 2005)	107
61. PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO PARA LA CUENCA	108
62. MATERIAL DEL ACUÍFERO PARA LA CUENCA TULUM	110
63. TEXTURAS DE SUELOS PARA LA CUENCA.....	111
64. PENDIENTE % DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.....	112
65. SECCIONES GEOLÓGICAS ESQUEMÁTICAS DE QUINTANA ROO (SARH,1989)	114
66. RESULTADO VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO MÉTODO DRASTIC	118
67. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONDUCTOS EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN ZONA DEL CARIBE VISTA DE PLANTA Y CORTE VERTICAL, (BEDDOWS, 2004).....	120
68. ACUÍFERO CÁRSTICO TIPO UNO(CUCCHI ET AL 2003)	121
69. ACUÍFERO CÁRSTICO TIPO 2 (CUCCHI ET AL 2003)	121
70. ACUÍFERO CÁRSTICO TIPO TRES (CUCCHI ET AL, 2003)	122
71. FALLAS Y FRACTURAS EN LA CUENCA	123
72. SISTEMA DE CUENCAS EXPLORADOS EN LAS CERCANÍAS DE TULUM	125
73. ZONA DE ELEVADA CONCENTRACIÓN DE CENOTES (NEUMAN Y RAHBEK, 2006)	126
74. ZONA DE ALTA PERMEABILIDAD ESTABLECIDA POR EL ANÁLISIS DE NEUMAN Y RAHBEK, 2006.....	127
75. DELIMITACIÓN DEL ACUÍFERO CÁRSTICO TIPO UNO Y TRES EN LA CUENCA.....	127

Figura	Página
76. MAPAS PARAMÉTRICOS DEL MODELO SINTACS.....	135
77. RESULTADOS DE MÉTODO SINTACS.....	136
78. GRADO DE VULNERABILIDAD MÉTODO SINTACS.....	137
79. RANGOS DE CALIDAD DEL AGUA ICA SEGÚN SU USO (LEON SIN AÑO).....	142
80. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS REPRESENTADAS POR ISOLÍNEAS (CAPA, 2005) A) PH, B) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, C) SALINIDAD, D)TEMPERATURA, E) SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, F) TURBIEDAD, G) SODIO, H) SULFATOS, I) POTASIO, J)NITRÓGENO AMONIAICAL, K) NITRITOS, L) NITRATOS.....	144
81. DELIMITACIÓN DE CUENCAS ELABORADA POR WRI, ICRAN (2006) PARA EL ESTUDIO ANÁLISIS DE CUENCA PARA EL ARRECIFE MESOAMERICANO Y LA MICROCUENCA TULUM DEL LA DELIMITACIÓN DE LA UAQ.....	153
82. PANEL 5 CONTRIBUCIONES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL AGUA EN QUINTANA ROO (CONAGUA, 2006).....	155
83. SISTEMA INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS (A) (UNATSABAR, 2001) Y GRÁFICA PARA CALCULAR EL VOLUMEN NECESARIO PARA SU INSTALACIÓN (B) (UNATSABAR, 2001).....	171
84. ESQUEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (UNATSABAR, 2001).....	176
85. DIAGRAMA DE FOSA SÉPTICA (MIRC, 1999).....	180
86. VISTA DE PLANTA DE SES (CASTILLO, 2002).....	181
87. TAZA SEPARADORA DE UN SES.....	182
88. VISTA DE PLANTA LATERAL DE SES (CASTILLO, 2002).....	183
89. SANITARIO ABONERO DIVIDIDO EN TAZA Y CÁMARA DE TRATAMIENTO PARA COMPOSTEO EXTERIOR (CASTILLO, 2002).....	185
90. TRAMPA DE GRASAS (SARAR TRANSFORMACIÓN SC, SIN AÑO).....	187
91. JARDINERA (SARAR TRANSFORMACIÓN SC, SIN AÑO).....	187
92. VISTA LATERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES (SARAR TRANSFORMACIÓN SC, SIN AÑO).....	190
93. VISTA DE PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES (SARAR TRANSFORMACIÓN SC, SIN AÑO).....	190
94. ESQUEMA Y ESTRUCTURA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL (LUNA, 2004).....	193
95. ESQUEMA DE SECCIÓN DE ACOLCHADO.....	195
96. COMPOSTA (NRCS, 1999).....	197
97. RECEPTÁCULOS PARA COMPOSTA, SE PUEDEN ELABORAR UTILIZANDO LOS MATERIALES DISPONIBLES A) BOTE DE BASURA, B) MALLA, C) LADRILLOS, D) POSTES Y ALAMBRE, E) TABLAS DE MADERA (USAID, 1999).....	200
98. HUERTO DE TRAPATIO (ILCE, SIN AÑO).....	205
99. KOLOXCHÉ (ILCE, SIN AÑO).....	206
100. KA'ANCHE´SE (ILCE, SIN AÑO).....	207
101. ESQUEMA DE SOLAR CON SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO DEL AGUA Y SANEAMIENTO (MODIFICADO DE ILCE, SIN AÑO).....	211
102. ESTUFA AHORRADORA DE LEÑA (TEHUITZIL, 2006).....	213
103. DISEÑO DE LA ESTUFA AHORRADORA DE LEÑA (VÁZQUEZ, 2004) A) BASE DE LA ESTUFA B) ESTUFA TERMINADA.....	214

1 INTRODUCCION

Quintana Roo se caracteriza por tener una gran variedad de ecosistemas importantes como son los humedales (1'128,704 ha decretadas como sitio RAMSAR) (CONANP, 2005), el tercer sistema de ríos subterráneos más grande del mundo (CINDAQ, 2003) y el Sistema Arrecifal Mesoamericano. Estos se encuentran conectados por un sistema hidrológico único que interactúa con los ecosistemas terrestres, costeros y marinos. El mantenimiento y conservación de la biodiversidad ahí presente, dependen en gran medida del abastecimiento de agua en cantidad suficiente y calidad adecuada.

Actualmente estos ecosistemas se encuentran gravemente amenazados por el manejo inadecuado de los recursos y el acelerado desarrollo de la zona. Se tiene poco conocimiento de los sistemas hidrológicos y su dinámica, sobre todo en los niveles de toma de decisiones. Se cuenta con pocos estudios técnicos, éstos son aislados y poco accesibles. De igual forma, no se incorporan los elementos del manejo integrado de cuencas en la planeación del desarrollo en Quintana Roo, debido a la dificultad de definir las cuencas en esta zona, pero este enfoque puede ser una herramienta muy útil para el manejo de los recursos naturales en este estado.

Se ha identificado, en reuniones con autoridades, centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil, la inexistencia de una coordinación interinstitucional gubernamental, lo que dificulta el manejo integrado de los recursos naturales de la zona (ASK, 2003).

Se requiere por tanto estudiar la hidrología, su entorno biótico y socioeconómico y diseñar una estrategia de manejo hídrico, que permita a las diferentes instituciones, no solamente entender su funcionamiento y particularidades, sino apoyarse en esta estrategia para una mejor toma de decisiones relacionada con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.

2 ANTECEDENTES

La Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK) se estableció en enero de 1986, y es una de las Áreas Naturales Protegidas más grandes en México, abarcando 528,000 hectáreas aproximadamente. Está ubicada en el centro de Quintana Roo y es un ecosistema complejo que incluye humedales, manglares, selvas, dunas costeras, bahías, lagunas de agua dulce y sistemas de aguas subterráneas (Salvat *et al.*, 2002). Se encuentra en los municipios de Solidaridad, al norte; Felipe Carrillo Puerto al este y Othón P. Blanco al sur.

La RBSK tiene dos zonas de influencia importantes, Felipe Carrillo Puerto ubicado a 40 km al poniente y Tulum ubicado a 10 km al norte (Ramsar, 2003). La zona de influencia es el territorio colindante a los límites del área natural protegida (ANP) con la cual, ésta, mantiene una continuidad de procesos físicos, biológicos y/o sociales. No posee límites rígidos, sino que estos se definen considerando los impactos mutuos de la comunidad en el ANP y viceversa. En este estudio se eligió trabajar con la zona de influencia norte por las oportunidades actuales de apoyar con información en la planeación del desarrollo que se está llevando a cabo en esa área.

La necesidad de hacer un manejo sustentable en las zonas de influencia de la RBSK radica en disminuir las presiones y amenazas que estas representan para la ANP y los ecosistemas aledaños que no se encuentran protegidos, promoviendo su conservación.

A su vez el área de influencia norte de la RBSK se encuentra regulada por el POET Cancún-Tulum, que regula el uso del suelo y el decreto del Parque Nacional Tulum publicado en el DOF en 1981, el Plan Rector de Producción y Conservación de la Microrregión Cobá, que abarca las comunidades de Francisco Uh May y Macario Gómez y actualmente se encuentran en proceso de diseño el Programa de Desarrollo Urbano de Tulum y el Programa de Ordenamiento Territorial del Municipio Solidaridad.

La zona de influencia norte forma parte de la región en la cual diversas iniciativas trabajan en la conservación de los recursos naturales. El Sistema Arrecifal Mesoamericano, una ecorregión compleja que conjunta diversos ecosistemas y se extiende cerca de 1,000 km desde el extremo norte de la Península de Yucatán en México hasta el complejo Islas de la Bahía/Cayos Cochinos en la costa norte de Honduras, incluyendo la porción costero-marina y las cuencas de los cuatro países que drenan al Mar Caribe (Fondo SAM, 2005).

Se cuenta también con el Programa Parques en Peligro con su metodología de “Planificación para la Conservación de Sitios (PCS)”, implementado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y las Asociaciones de la Sociedad Civil The Nature Conservancy (TNC) y Amigos de Sian Ka’an (ASK) (TNC, 2006).

Entre otros programas con intereses en la zona se tiene: el proyecto “Planeación Ecorregional de la Selva Maya, Zoque y Olmeca”, estrategia internacional dirigida por la asociación civil PRONATURA Península de Yucatán y TNC con la participación de decenas de organizaciones e instituciones de tres países que incluye la participación de México, Honduras y Guatemala para desarrollar un marco orientador de los esfuerzos de conservación. El programa está constituido por una red de áreas de interés para la conservación y un conjunto de estrategias y alianzas institucionales, con el propósito de conservar la gran mayoría de procesos, comunidades naturales y especies representativos de la biodiversidad de la Selva Maya Zoque y Olmeca (PRONATURA, 2006). Todas estas estrategias destinadas a la conservación de la biodiversidad.

Existen diversos estudios sobre la hidrología de la zona como son: la “Sinopsis Geohidrológica del Estado de Quintana Roo” publicado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1989, el “Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo” publicado por Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2005) y la actualización geohidrológica de la parte norte de

Quintana Roo, realizado por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2001). Estos estudios describen las características físicas de los sistemas hidrológicos de forma muy general. Otras instituciones de investigación como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), el Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) y el Centro de Estudios del Acuífero de Quintana Roo (CINDAQ), han realizan estudios hidrológicos muy específicos. Amigos de Sian Ka'an en conjunto con la Universidad Técnica de Dinamarca y el Servicio Geológico de Austria, ha comenzado también una serie de estudios electromagnéticos y la elaboración de modelos para describir la estructura hidrogeológica de la zona y poder entender la dinámica del flujo de agua subterránea.

En Quintana Roo, la Gerencia Estatal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) ha realizado los Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC) de 22 cuencas, como ellos las denominan, aunque en realidad son micro regiones, conformadas cada una de éstas por cuatro a siete ejidos. De estos 22 PRPC, dos pertenecen al municipio de Solidaridad. Aún cuando la Universidad Autónoma de Querétaro, realizó la delimitación de las cuencas de todo el país, las autoridades estatales de Quintana Roo no consideraron esta delimitación para elaborar su trabajo, por lo que se estudiará la pertinencia de incorporar esta delimitación al manejo integrado de cuencas en Quintana Roo.

3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Los ecosistemas presentes en la zona de influencia norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, interconectados por el agua, se encuentra amenazada por el manejo inadecuado de los recursos naturales, el desarrollo urbano y turístico acelerado, la falta de sistemas de saneamiento y manejo de residuos sólidos, desconocimiento de las condiciones geohidrológicas particulares de la zona por las autoridades y la población y poca participación de esta última en los procesos de toma de decisiones.

4 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una estrategia integrada de manejo hídrico, para la conservación del recurso agua y los sistemas que de este dependen en la zona de influencia norte de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

4.1 Objetivos específicos

3.1.1 Conocer las características ambientales, sociales y económicas del área de estudio.

3.1.2 Elaborar un estudio hidrológico que nos permita conocer el uso actual del recurso agua, el balance hidrológico, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la calidad del agua de uso potable en el área de estudio.

3.1.3 Elaborar el diagnóstico de la problemática del área de estudio.

3.1.4 Evaluar la pertinencia de los elementos de gestión integrada de cuencas para Quintana Roo.

3.1.5 Proponer las estrategias de manejo del agua y las alternativas de saneamiento.

5 METODOLOGÍA

Para contar con los elementos necesarios para el diseño de la estrategia de manejo y conservación de los recursos hídricos en la zona de influencia norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, fue necesario elaborar en un principio, para conocer las características y procesos que suceden en la zona de estudio, la caracterización ambiental y socio económica en base a los lineamientos del los Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Posteriormente se decidió elaborar un estudio hidrológico más detallado el cual incluyó en primer lugar una descripción de como la población utiliza el agua en la zona de estudio (recopilando información de las agencias de gobierno competentes y en base a encuestas). Para conocer en donde se encuentra el agua en el área de estudio se hizo el cálculo del balance hidrológico a nivel Península de Yucatán utilizando herramientas de sistema de información geográfica. Con esta misma herramienta se aplicaron metodologías para conocer la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, y se analizó cual es la que más se acerca a las características propias el acuífero de Quintana Roo, ya que no existe una metodología desarrollada específicamente para esta zona. También se analizaron los datos de calidad del agua de los pozos de extracción para uso potable del período 2005 de las diferentes comunidades de la cuenca. En base a la información obtenida a través de las diferentes metodologías descritas anteriormente, los PRPC existentes de la zona y las encuestas aplicadas, se elaboró el diagnostico de la problemática, las causas y efectos de esta y el análisis de las posibles soluciones, dando como resultado la estrategia para el manejo y conservación del agua en esta zona y los proyectos comunitarios propuestos. Es importante señalar que se evaluaron los diferentes elementos de la gestión integrada de cuencas utilizando la experiencia del trabajo realizado en esta tesis, para promover su aplicación en Quintana Roo, dando sugerencias y recomendaciones de modificaciones que podrían apoyar su implementación en este Estado.

A continuación se describen en mayor detalle cada una de las etapas de la metodología llevada acabo en este trabajo.

5.1 Delimitación del área de estudio

Se ubica en la Península de Yucatán, en la porción centro-norte del estado de Quintana Roo (Figura 1), comprendiendo la parte sur del municipio de Solidaridad, representando la zona de influencia norte de la RBSK. Se realizó el ejercicio para la “Microcuenca Tulum” (según la terminología de delimitación de cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería). Este polígono se encuentra entre las coordenadas UTM Z16 3,480,659 N y 2,405,369.46 E y 3,516,321.0 N y 2,349,364.46 E, colinda al sur con el límite norte de la RBSK al este con el mar Caribe y al norte y oeste con el resto del municipio de Solidaridad. Tiene una extensión de 1,157.84 km² y un perímetro de 179,507.855 m la cual, por su extensión, entra en la clasificación para fines de planeación como “Cuenca Mediana a Grande (de 500 a 2500 km²)” (Domínguez, M., 2007) esto se debe a las características geomorfológicas del área por lo que en adelante se denominará de esta forma.

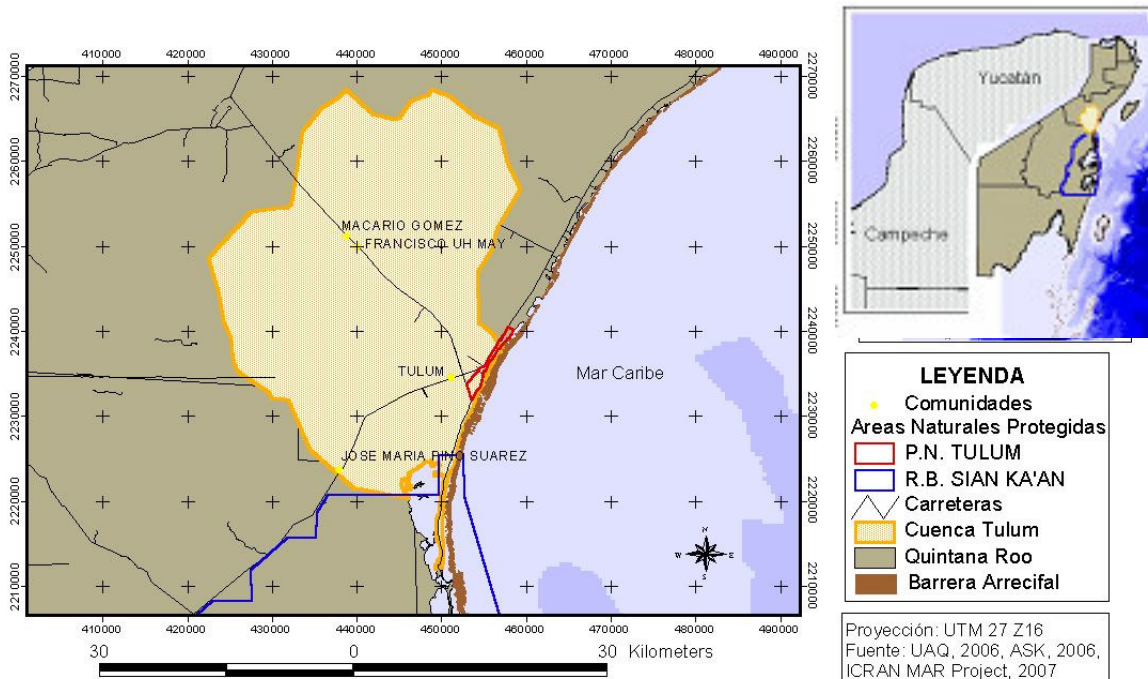


Figura 1. Ubicación del área de estudio, Cuenca Tulum, delimitación de cuencas proyección UTM Z16, (ASK, 2006, UAQ, 2006)

5.2 Caracterización ambiental, social y económica del área de estudio

La caracterización física, ambiental y socioeconómica de la zona se elaboró siguiendo los términos de referencia del Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC), descrito en el Programa Nacional de Cuencas (PNM) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

La caracterización consiste en identificar, obtener y recopilar la información básica existente sobre la zona de trabajo, recurriendo por ello a diversas fuentes de información, como son instituciones gubernamentales (CAPA, CNA, SAGARA, CONANP, INEGI), centros de investigación, universidades y los habitantes de las comunidades, para obtener cartografía, estudios y cualquier tipo de información útil para el desarrollo de la caracterización de la cuenca (SAGARPA, 2002). El marco de referencia que se utilizó para elaborar la caracterización contempla los aspectos biofísicos, sociales y económicos.

5.3 Estudio Hidrológico

5.3.1 Determinación del uso actual del recurso agua

La información necesaria para determinar el uso actual del agua en la cuenca se recopiló a través de visitas a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en Tulum y Chetumal respectivamente. De igual forma se hicieron 84 encuestas que representan el 10 % de la población de las comunidades de Francisco Uh May, Macario Gómez, José María Pino Suárez, la zona hotelera en la costa de Tulum, incluyendo el súper mercado San Francisco y el cenote que da servicios turísticos Carwash (Ver Figura 2). Para la población de Tulum no se realizó un sondeo con 31 encuestas, siendo las respuestas a estas encuestas muy homogéneas.

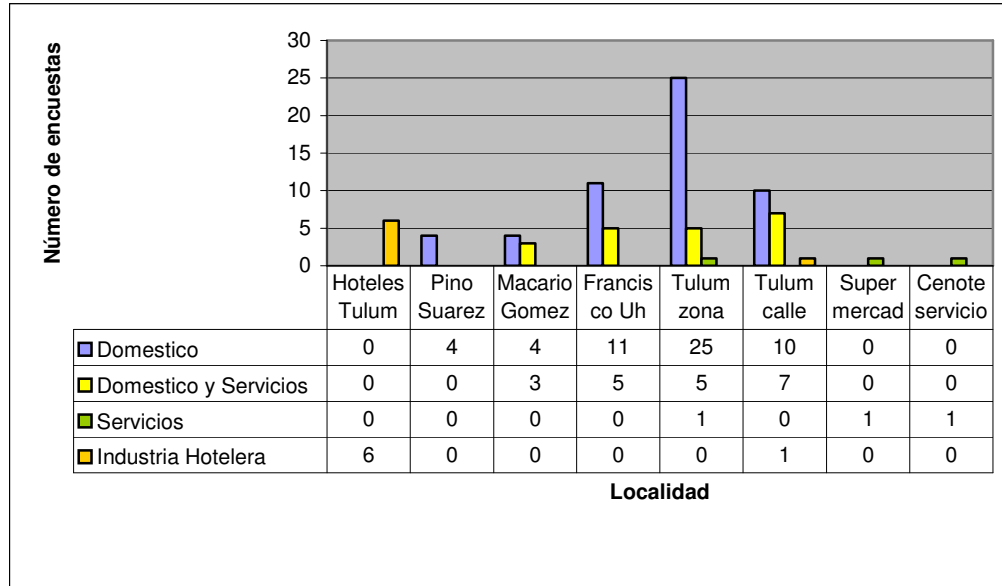


Figura 2. Encuestas realizadas en las comunidades de Francisco Uh May, Macario Gómez, José Ma. Pino Suárez y Tulum, Municipio Solidaridad, Quintana Roo, en noviembre de 2006

5.3.2 Balance hidrológico

El balance hidrológico se determinó conociendo los valores de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento y de infiltración. Estos se calcularon utilizando diferentes metodologías, descritas a continuación, con base en los datos meteorológicos promedio de precipitación y temperatura de 122 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua, distribuidas en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Figura 3 y Apéndice I).

El cálculo del balance hidrológico se apoyó en la ecuación de balance y se utilizará el Sistemas de Información Geográfica (ArcView 3.2) como herramienta para hacer las interpolaciones de datos (como se explica en el capítulo 5.3.2.5). Los parámetros que interviene en la ecuación de balance son los siguientes:

$$\text{Precipitación} = \text{Evapotranspiración} + \text{Esgurrimiento} + \text{Infiltración}$$

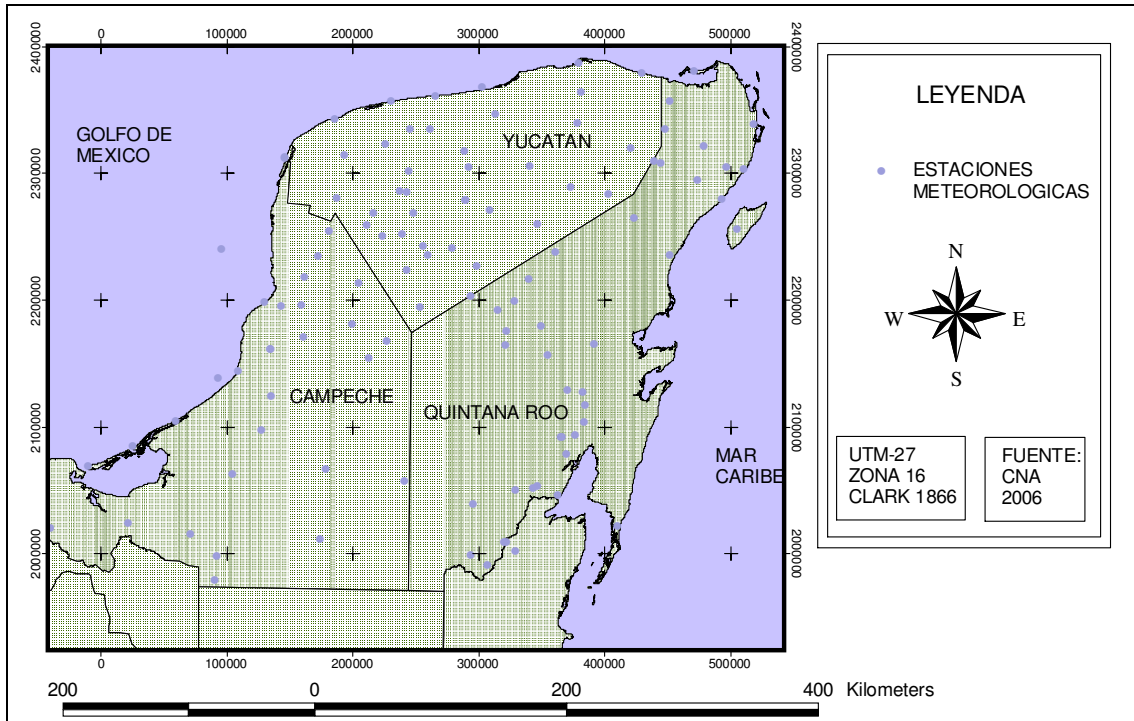


Figura 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la Península de Yucatán, proyección UTM 27, Z16, (CNA,2006)

Se utilizaron los datos de normales climatológicas 1961-1990 para las estaciones de Campeche y Yucatán y los promedios mensuales de 20 años anteriores para Quintana Roo.

5.3.2.1 Precipitación

Los datos de precipitación que se utilizaron en el balance hidrológico son datos medidos directamente en las estaciones meteorológicas. La lluvia en estas estaciones se midió por la altura que alcanzaría el agua sobre una superficie plana y horizontal ideal antes de sufrir pérdidas. Los datos meteorológicos de precipitación se obtuvieron a través de pluviómetros. Estos midieron la cantidad de lluvia en milímetros recibida en un intervalo de tiempo, generalmente un día, comprendido entre dos lecturas consecutivas.

El pluviómetro se compone de un recipiente cilíndrico, abierto y con el eje vertical, que termina por su parte superior en un borde de latón de filo cortante (Figura 4).

El cilindro termina por abajo en una especie de embudo cónico, que en su extremidad inferior lleva una espita; al abrir ésta, la lluvia recogida durante un determinado periodo, se transvasa a recipientes graduados. Conociendo la superficie de la base circular del cilindro se obtiene la cantidad de lluvia caída por unidad de superficie en el terreno de la zona. Dicha cantidad se expresa en milímetros, que representan la altura de la capa de agua caída.

La dimensión normal de la superficie anteriormente citada en estos instrumentos es de 0.1 m^2 , por lo que un litro de agua recogida en el recipiente (equivale a un dm^3) representa 10 mm de lluvia. La altura del cilindro normalmente es la necesaria para poder recoger hasta 400 mm de lluvia (Gobierno Vasco, 2006).



Figura 4. Pluviómetro Fuente: URL: <http://vppx134.vp.ehu.es/met/html/diccio/indice.htm> 02/0106

Cabe destacar que la precipitación es el único parámetro real medido en campo con el que se estima el balance hidrológico en este trabajo.

5.3.2.2 Esguerrimiento

Se utilizó el método que describe la Norma Oficial Mexicana “NOM-011-CNA-2000”, “APÉNDICE NORMATIVO “A” MÉTODOS PARA DETERMINAR EL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESGUERRIMIENTO NATURAL”, (CNA,2000), que tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento.

El coeficiente de esguerrimiento se determinó en función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio.

A falta de información específica, con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasificaron los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla dos y al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtuvo el valor del factor K. Obteniendo este factor se calculó el coeficiente de escurrimiento como se describe en la tabla uno (CNA,2000).

Tabla 1. Formulas para calcular el coeficiente de escurrimiento, dependiendo del tipo y uso del suelo, para K mayor y menor de 0.15 (CNA,2000)

K parámetro que depende del tipo y uso de suelo	Coeficiente de escurrimiento anual (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0.15	$Ce=K(P-250)/2000$
Si K es mayor que 0.15	$Ce=K (P-250)/2000+(K-0.15)/1.5$

Tabla 2. Valores de K en función del tipo y uso de suelo (CNA,2000)

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

5.3.2.3 Evapotranspiración

Se realizó una evaluación de los diferentes métodos que existen para estimar la evapotranspiración potencial. Estos métodos son Thorntwaite, modificado de Thorntwaite, Turc, Evaporímetro y Cotaugne (Figura 5). El método elegido fue Turc por su simplicidad y por que se ajusta mejor a los datos disponibles.

De acuerdo con Turc:

$$E = P / (0.9 + (P^2 / [L(t)]^2)^{0.5})$$

En donde

- E: Evapotranspiración media anual
- P: Precipitación media anual
- L(t): $300 + 25t + 0.05t^2$
- t: Temperatura media anual (°C)

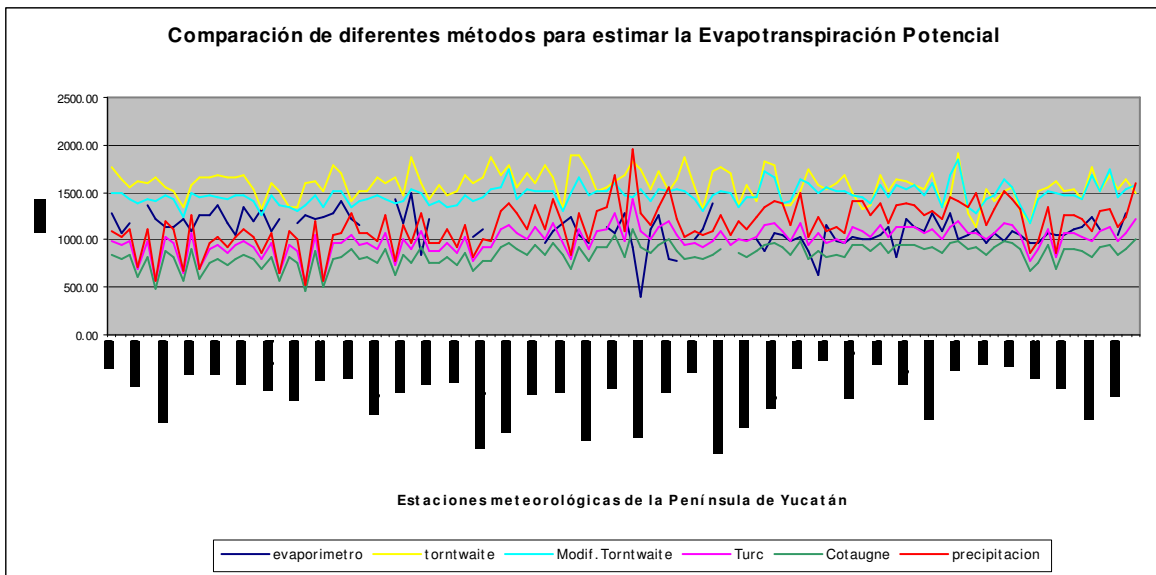


Figura 5. Comparación de los resultados de diferentes métodos para estimar la evapotranspiración calculados para los datos meteorológicos de la Península de Yucatán y su diferencia en relación a la precipitación media anual (Datos base CNA, 2005)

5.3.2.4 Infiltración

La determinación de la infiltración a partir de datos meteorológicos para el balance hidrológico se calculó por diferencia, entre la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento. Valores negativos indican intensidad de lluvia menor que la tasa de infiltración y se suponen igual a cero. La suma de la evapotranspiración, el escurrimiento y la infiltración debe ser igual a la precipitación.

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

5.3.2.5 Método de interpolación de datos

Para calcular el balance hidrológico se utilizó la metodología de interpolación a través del uso de los sistemas de información geográfica como herramienta utilizando la versión ArcView 3.2. Para las interpolaciones (del balance hidrológico y la metodología de vulnerabilidad del acuífero) se utilizaron capas de información georeferenciada en formato vectorial y en formato raster (ver en referencias, capas de información geográfica). Una capa de información en formato vectorial esta formada por un conjunto de puntos o líneas unidas por puntos que forman una red. Cada segmento de línea o puntos tiene atributos asociados, en cambio, una capa de información en formato raster es una matriz o grid de dos dimensiones formada por un número determinado de columnas y renglones con píxeles con el mismo tamaño de alto que de ancho. El punto de origen de la matriz es el extremo superior izquierdo. Los atributos de los datos pueden ser enteros o punto flotante. La resolución de los datos raster dependen del número de píxeles que tenga la imagen y del tamaño del píxel entre mas pequeños y mayor numero de píxeles tenga la imagen tendrá mejor resolución.

La Interpolación de datos en una matriz georeferenciada o datos raster es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una locación precisa a partir de valores del atributo obtenidos de puntos vecinos

ubicados al interior de la misma región. Se utiliza la interpolación para transformar un número finito de observaciones, en este caso los datos meteorológicos de precipitación y temperatura, obtenidas en base a ubicaciones geográficas precisas (las estaciones meteorológicas, ver Apéndice I), a un espacio continuo de manera que el patrón espacial presentado por las observaciones puntuales pueda ser comparado con los patrones espaciales de otras variables bajo consideración.

La interpolación es necesaria cuando:

- La superficie rasterizada (GRID) tiene una resolución que es diferente de la resolución pedida,
- cuando una superficie continua es representada por un modelo que es diferente al necesitado
- Y cuando los datos no cubren toda la región de interés de estudio.

La hipótesis básica de la interpolación espacial es:

"La observación común que, en promedio, da valores a un atributo dentro de una vecindad en el espacio tienen una fuerte probabilidad de ser similares (variables regionalizadas y dependencia espacial) y que esta probabilidad disminuye respecto a valores de una vecindad separados por una gran distancia".

Los métodos de interpolación se los clasifica en dos grandes grupos:

- Métodos globales
- Métodos locales determinísticos

Métodos de interpolación Globales. Los métodos globales utilizan todo los datos disponibles para efectuar una estimación válida para toda la región de interés; en cambio los métodos locales determinísticos operan dentro de una pequeña zona alrededor de la ubicación donde se desea obtener un valor interpolado. Los métodos globales son utilizados más bien para examinar y eliminar posibles tendencias presentes en los datos tanto más que para efectuar una interpolación. Una vez que los efectos globales han sido eliminados, los valores residuales de

las variaciones globales son interpolados usando un método local. Un ejemplo de métodos de interpolación global es el Método Kriging.

Métodos de interpolación locales. Los métodos de interpolación locales usan la información proveniente de los vecinos para calcular el valor del atributo. Esto significa definir una región alrededor de la ubicación donde el valor del atributo debe ser calculado, determinar cuantos vecinos se encuentran al interior de esta región, encontrar una función matemática que representa la variación de este conjunto de puntos y evaluar esta variación por puntos en una malla regular.

Ejemplos de interpolación local son los polígonos de Thiessen o Voronoi, métodos basados en un peso lineal e inversamente proporcional a la distancia y métodos basados en cuñas (splines). Estos tipos de métodos de interpolación se encuentran disponibles en la mayoría de los programas Sistemas de Información Geográfica.

Este procedimiento debe ser repetido hasta que todos los puntos en la matriz regular hayan sido calculados. En este procedimiento es también posible de considerar información externa y tendencias presentes en los datos.

Los dos tipos de interpolación local que se probaron para la interpolación de los datos meteorológicos fueron los que incluye la herramienta Spatial Analyst del programa ArcView y estos son:

- Peso proporcional al inverso de la distancia "Inverse Distance Weighting (IDW)",
- Generación de cuña "Splines".

Estos métodos tienen en común el hecho que uniforman los datos pues utilizan un tipo de promedio al interior de la ventana que define la región de influencia de los vecinos alrededor de un punto.

El método IDW combina la idea de vecindad con la idea de un cambio gradual de las superficies con una tendencia. Se supone que el valor del atributo Z en una posición donde el valor del atributo no es conocido es un promedio de los valores de sus vecinos pero donde los vecinos más cercanos tienen más peso, mayor importancia que los más alejados (FAO, 2003).

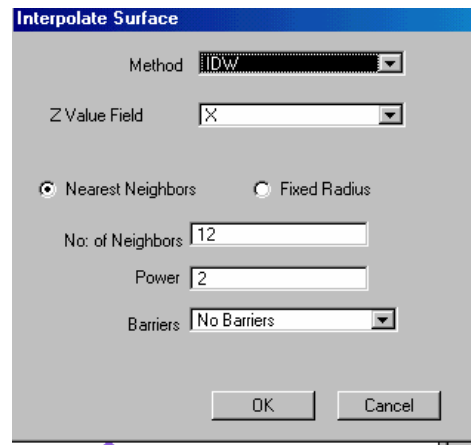


Figura 6. Pantalla de programa para la aplicación de interpolación IDW de ARCVIEW versión 3.1

El Método Splines estima valores usando una función matemática que reduzca al mínimo la curvatura superficial total, dando por resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de la entrada (FAO, 2003).

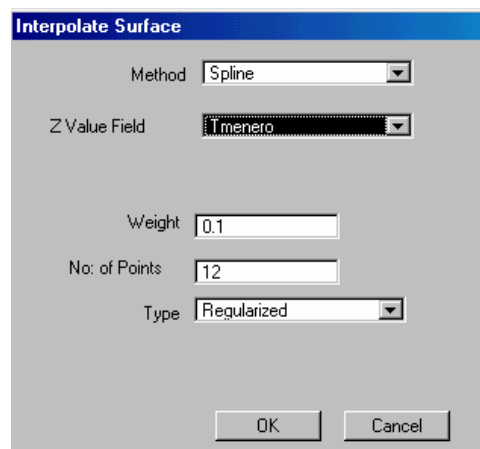


Figura 7. Pantalla de programa para la Aplicación de interpolación Spline de ARCVIEW 3.1

Los datos meteorológicos por estación fueron interpolados por el Método IDW y Spline para obtener una representación de la variación de los diferentes

parámetros en el espacio en las diferentes épocas del año. Se hizo una determinación del error utilizando los dos métodos para definir cual era el más adecuado para tratar los datos meteorológicos, siendo el método IDW el más adecuado en este ejercicio.

5.3.3 Vulnerabilidad del Acuífero

La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación puede ser determinada en función de varios aspectos y su empleo se diversifica en relación al contexto donde se inserta. Desde que MARGAT (1968) introdujera el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha logrado consenso sobre el alcance del término y en este sentido, existen dos grandes corrientes:

- a) La vulnerabilidad intrínseca. Representada por aquellos investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes.
- b) La vulnerabilidad específica. Representada por los que sí le otorgan, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga del contaminante (Auge, 2004).

Vrba y Zaporozec (1994) definen a la vulnerabilidad como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”. De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como a los contaminantes y dentro de estos a los artificiales y a los naturales.

Foster y Hirata (1991) dicen que la “vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga

contaminante impuesta”. En este caso al citar a una carga contaminante impuesta, los autores parecen referirse solamente a una contaminación de origen artificial.

Custodio (1995) señala que “la vulnerabilidad a la contaminación expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales”. Vuelven a aparecer aquí procesos naturales y/o artificiales, como potenciales generadores de la alteración.

Carbonell (1993) define la vulnerabilidad a la contaminación, como la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero. En este caso el autor considera solamente la acción de los contaminantes.

EPA (1991) hace referencia a la vulnerabilidad subterránea respecto a un plaguicida, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede alcanzar al acuífero en función de las prácticas agrícolas empleadas, las características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica. Esta definición incorpora, además de las condiciones del medio, las propiedades del contaminante y las prácticas de cultivo (vulnerabilidad específica) (Auge, 2004).

Los mapas de vulnerabilidad tienen múltiples propósitos y son útiles, sobre todo, a nivel gubernamental. Su principal cometido es servir de guía en la planificación de actividades relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, siendo una herramienta fundamental para definir qué utilización pueden tener determinadas zonas, y en el desarrollo de políticas de protección para las aguas subterráneas subyacentes a la superficie de asentamiento de actividades existentes (Bessouat, *et al.* , 2001).

Las evaluaciones de vulnerabilidad del agua subterránea han sido utilizadas cada vez más a partir de los años noventa como una herramienta para planear y manejar los recursos acuíferos en diferentes partes del mundo. Existen muy

variadas metodologías (Ver tabla tres) para determinar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Esencialmente coinciden en la determinación de la vulnerabilidad debido a las características intrínsecas del medio, por lo que algunas metodologías la denominan vulnerabilidad intrínseca. Algunos otros métodos como el de Factores de Atenuación están íntimamente relacionados con el tipo de contaminante y resultan más complejos (Bracho *et al.*, 2004)

Entre los diferentes métodos que existen para evaluar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se encuentran:

El Método DRASTIC, método empírico desarrollado por Aller *et al.*, en 1987 y patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (1991). Este método busca sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes de alcanzar la zona saturada. Esta técnica es denominada así por los siete factores que se toman en cuenta para la determinación de la vulnerabilidad por sus siglas en inglés, siendo Profundidad del agua subterránea, Tasa de recarga, Tipo de acuífero, Tipo de suelo, Topografía, Impacto en la zona no saturada y la Conductividad hidráulica.

El método GOD, desarrollado en 1987 por Foster, trata de ser simple y sistemático. Éste se considera el primer paso para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con el fin de establecer prioridades. El método determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante. Los factores que considera el método son: La profundidad del nivel del agua, el tipo de substrato litológico y la ocurrencia del agua subterránea o confinamiento del acuífero. El método se basa en la asignación de índices entre cero, uno y tres variables que son- tipo de acuífero, litología de la cobertura y profundidad del agua o del acuífero.

El Método SINTACS, que es una derivación del DRASTIC, desarrollado por Civita *et al.*, 1990, para adecuarlo a las diversificadas características hidrogeológicas de

Italia y al requerimiento de un mapeo de mayor detalle. Utiliza los mismos siete parámetros de DRASTIC y se les puede añadir la incidencia del agua superficial y el uso del suelo.

El Método EPIK, es un modelo paramétrico desarrollado por Doerfliger y Zwahlen (1997) para acuíferos cársticos y utiliza cuatro parámetros que son El epicarst, la capa protectora, las condiciones de infiltración y el desarrollo de la red cárstica.

El método Ekv, desarrollado por Auge (2004), considera que la vulnerabilidad es un concepto cualitativo, que en la generalidad se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación. Por ello también se la conoce como protección o defensa natural. En relación a los acuíferos libres desarrolla una clasificación basada en la profundidad de la superficie freática (E) y en la permeabilidad vertical de la zona subsaturada (Kv), parámetros que también considera el método AVI (Aquifer Vulnerability Index). A ambas les asigna índices que van de uno (menos vulnerable) a cinco (más vulnerable).

El Método DhT' (Relación de potenciales hidráulicos) se basa en que la vulnerabilidad del acuífero, está controlada por las propiedades físicas y geométricas del acuitardo que conforma su techo (permeabilidad vertical, porosidad, espesor y continuidad) y también por la diferencia de potencial hidráulico que guarda con el libre sobrepuesto. Esta diferencia, que bajo condiciones de no alteración generalmente es pequeña (algunos dm a pocos m), se magnifica en los ámbitos bajo explotación, donde puede alcanzar decenas y aún centenas de metros.

El Método índice de vulnerabilidad AVI, es uno de los métodos más sencillos, fáciles y rápidos de cuantificar la vulnerabilidad, tan sólo utiliza la conductividad hidráulica y el espesor de las capas de diferente material que se encuentran sobre el nivel del agua (Baez, 2001). Es un índice para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero (Van Stempvoort *et al.*, 1992), por medio de la resistencia hidráulica "c" al

flujo vertical del agua al pasar por los diferentes materiales sobre el acuífero. A mayor resistencia hidráulica c, menor vulnerabilidad.

En este trabajo se hicieron los ejercicios para determinar la vulnerabilidad del acuífero con diferentes métodos como DRASTIC y SINTACS. El más apropiado es el método SINTACS, por que es el que se ajusta más a las características propias del acuífero presente en la zona de estudio debido a la diferenciación que este método hace de tres tipos de acuíferos cársticos diferentes. A continuación se describen las metodologías de estos dos modelos utilizados con más detalle.

Tabla 3. Métodos para evaluar la vulnerabilidad del acuífero (Auge, 2004)

DRASTIC		GOD		SINTACS		EPIK		EKv		$\Delta HT'$	
D	Depth Prof. de la Sup. freática	G	Ground water ocurrence Tipo de acuífero	S	Soggiacenza Prof. del agua	E	Epikarstic Características del epikarst	E	Espesor de la sección subsaturada	Δh	Dif. de pot. hidráulico (libre – semiconfinado)
R	Recharge Recarga neta	O	Overall aquifer class Litología de la cobertura	I	Infiltrazione Infiltración	P	Protective cover Cobertura edáfica	Kv	Permeabilidad vertical de la sección subsaturada	T'	Transmisividad vertical del acuitardo
A	Aquifer Acuífero (litología)	D	Depth Prof. del agua o del acuífero	N	Non saturo Zona subsaturada	I	Infiltration Infiltración				
S	Soil Suelo			T	Tipologia della copertura Tipo de suelo	K	Karst network Red kárstica				
T	Topography Topografía			A	Acquifero Características del acuífero						
I	Impact Impacto de la zona subsaturada (litología)			C	Conductibilità idraulica Conductividad hidráulica						
C	Hydraulic Conductivity Conductividad hidráulica			S	Superficie topografica Topografía						

5.3.3.1 DRASTIC

La metodología DRASTIC, desarrollada por la E.P.A, (Aller *et al.*, 1987) es la metodología que considera más factores físicos y variables características de los medios subterráneos y permitir una cuantificación consistente.

DRASTIC es un sistema paramétrico de evaluación que incluye siete características fundamentales a las que asigna valores numéricos entre uno y 10 de acuerdo a la importancia relativa de cada una en el proceso de existencia y expresión del agua subterránea, que se escoge de acuerdo al acuífero particular de que se trate, y un multiplicador entre uno y cinco (peso según su importancia) recomendado por los autores del método para expresar generalidades propias del agua del subsuelo. Como resultado de esta evaluación se obtiene un mapa, mostrando zonas con mayor o menor sensibilidad a la contaminación. Los siete parámetros son:

- D** - Profundidad al acuífero
- R** - Recarga neta
- A** - Tipo de acuífero
- S** - Tipo de suelo
- T** – Topografía como Pendiente
- I** - Impacto a la zona no saturada
- C** - Conductividad hidráulica

DRASTIC se apoya en valoraciones cualitativas y permite encontrar un valor numérico para cada punto del área de trabajo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

Donde los subíndices R y W son el puntaje y el peso de ponderación respectivamente. Esta suma expresa la conjunción de las valoraciones de cada propiedad, aportadas por el método, y el conocimiento del acuífero particular del que se trata por parte de quienes lo aplican (Bossuat *et al.*, 2001).

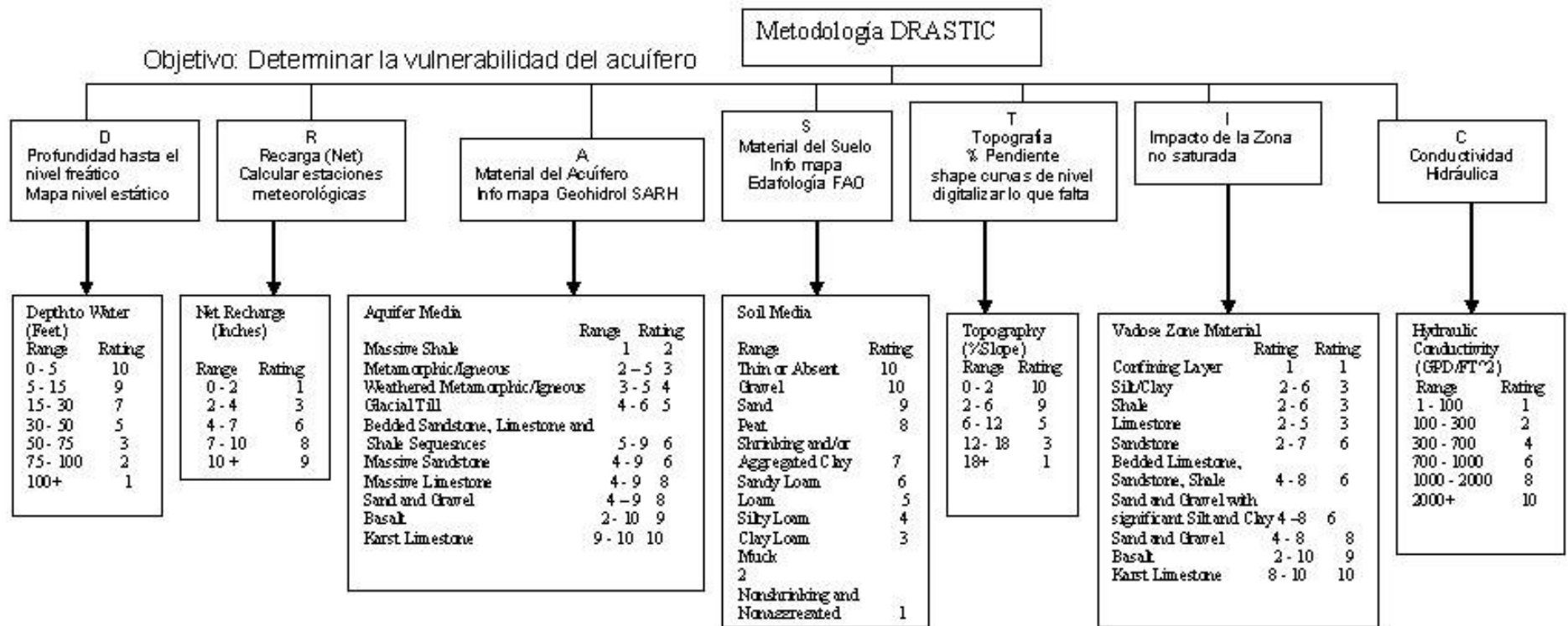


Figura 8. Modelo cartográfico Método DRASTIC (Bossuat *et al.*, 2001).

Los pesos y ponderaciones asignadas a cada uno de los siete parámetros se encuentran descritos en la figura ocho.

5.3.3.2 SINTACS

El sistema paramétrico SINTACS ha sido utilizado en áreas cársticas principalmente ya que este método permite una definición mas detallada y objetiva de la vulnerabilidad en estas condiciones (Corniello *et al.*, 2000). Este método se deriva en un comienzo de la metodología DRASTIC, evalúa la vulnerabilidad vertical utilizando los mismos siete parámetros:

- (S) Profundidad del acuífero
- (I) Recarga del acuífero
- (N) Atenuación de la zona saturada
- (T) Potencial de atenuación de suelo
- (A) Características geohidrológicas del acuífero
- (C) Conductividad hidráulica
- (S) Pendiente (topografía)

Cada factor definido de forma espacial, se clasifica en rangos (de uno al 10) conforme al impacto que tengan en la contaminación del acuífero. Multiplicadores de peso son utilizados para cada parámetro para balancear y resaltar su importancia. El índice final de vulnerabilidad es una suma ponderada de los siete factores descritos anteriormente. Los pesos dados dependen de las características hidrogeológicas del área, es posible utilizar en el mismo mapa diferentes pesos en diferentes sectores

$$Iv \text{ (índice de vulnerabilidad)} = \sum (P * W)$$

Donde W es el peso en cada clase.

Los grados de vulnerabilidad resultantes son: Extremadamente alto ($Iv \geq 211$), muy alto ($210 \geq Iv \geq 187$), alto ($186 \geq Iv \geq 141$), Moderado ($140 \geq Iv \geq 106$), bajo ($105 \geq Iv \geq 81$) y muy bajo ($Iv \leq 80$) (Corniello *et al.*, 2003).

Se consideraron las recomendaciones que Franco Cucchi, Paolo Forti y Luca Zini (2003), realizan en su artículo “La vulnerabilidad de las estructuras cársticas complejas: problemas y perspectivas”, para obtener una mejor adherencia entre los mapas de vulnerabilidad intrínseca e integradora a la contaminación y a las condiciones hidroestructurales que en los acuíferos cársticos que existen en Quintana Roo.

Para asignar los puntajes a los siete parámetros del modelo, se utilizaron las siguientes gráficas recomendadas en la metodología por Cucchi *et al* (2003).

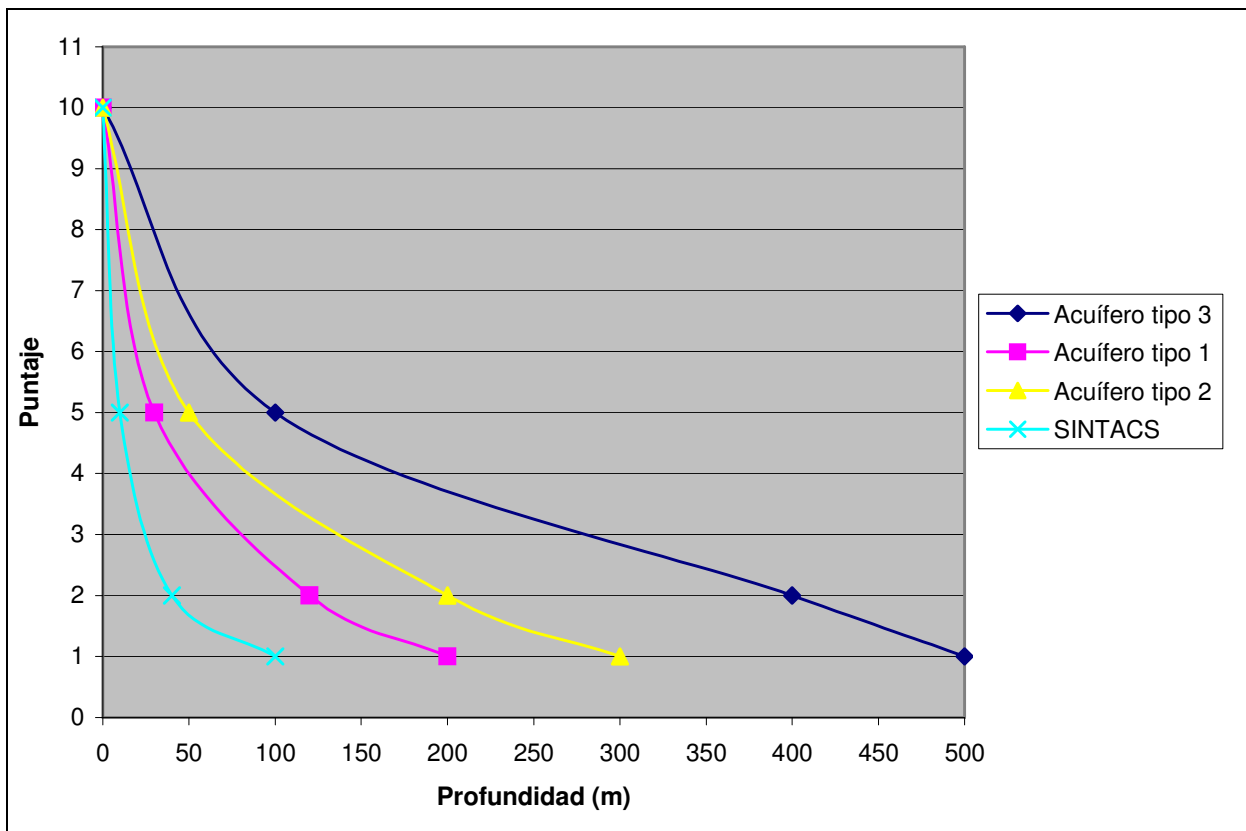


Figura 9. Rangos y puntajes asignados a la profundidad del agua por el método SINTACS

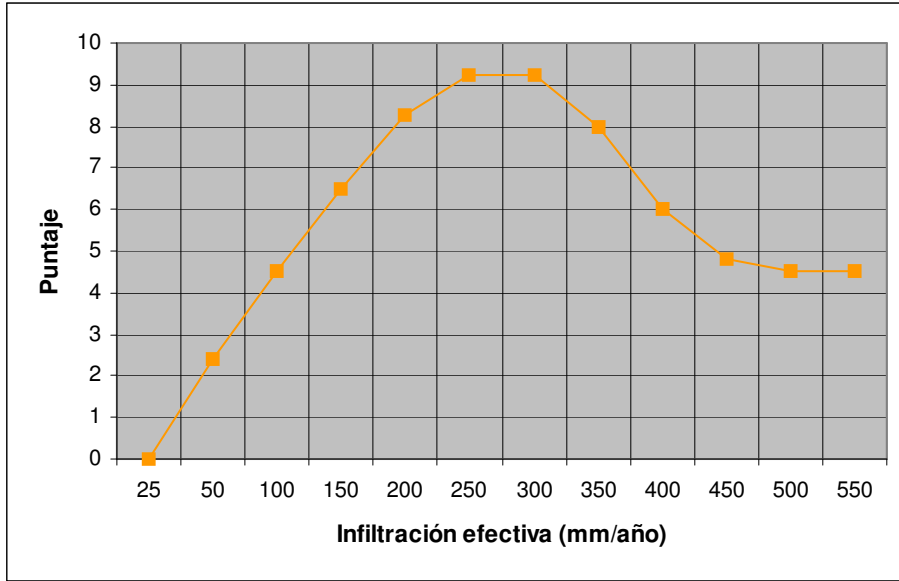


Figura 10. Rangos y puntajes para la infiltración asignados por SINTACS (Civita *et al*, 2004)

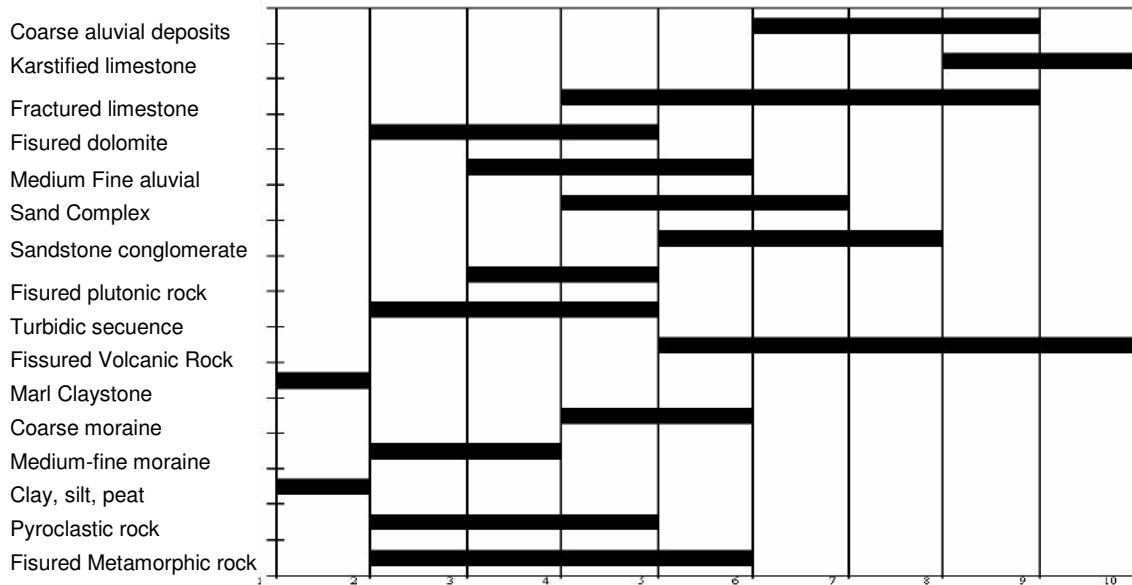


Figura 11. Rangos y puntajes asignados para atenuación de la zona no saturada (Civita *et al.*, 2004)

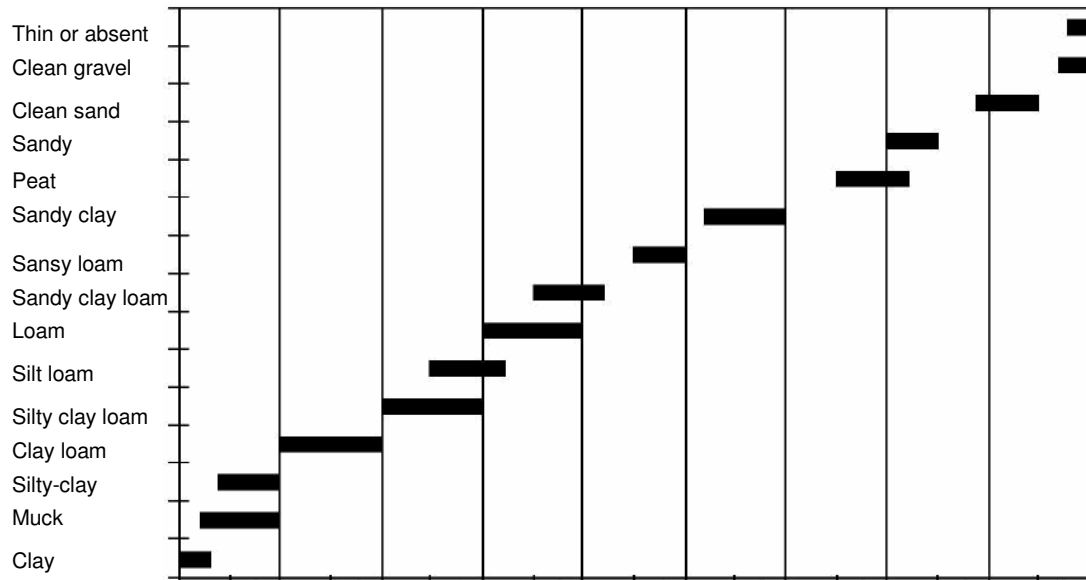


Figura 12. Rangos y puntajes asignados a la atenuación por tipo de suelo, (Civita et al, 2004)

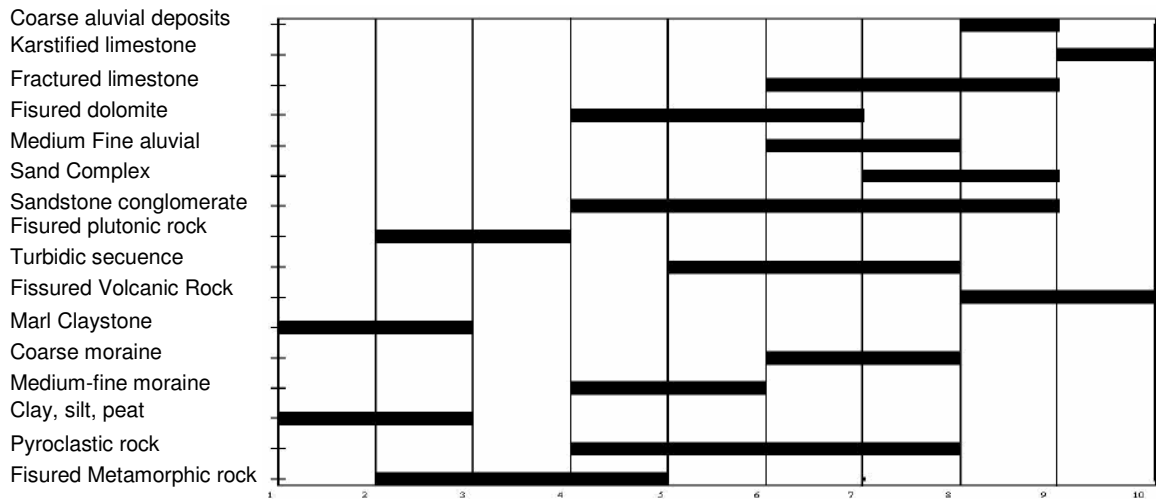


Figura 13. Rangos y puntajes establecidos por SINTACS para las características del acuífero (Civita, *et al.*, 2004)

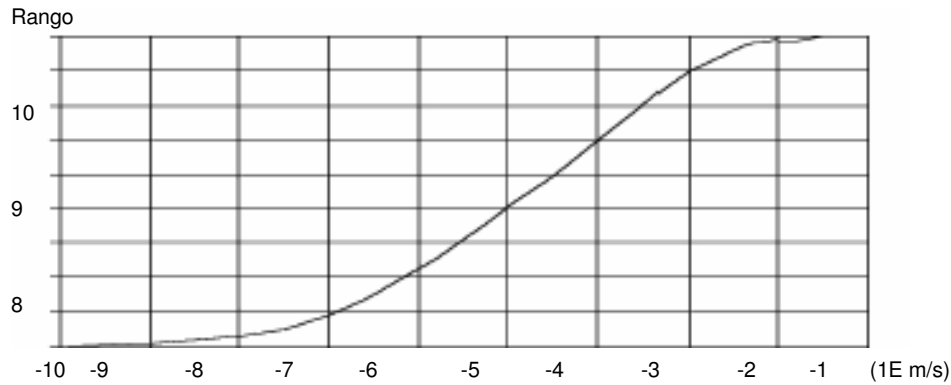


Figura 14. Rangos y puntajes asignados por SINTACS para la conductividad hidráulica (Civita *et al*, 2004)

5.3.4 Calidad del agua

Se evaluaron los datos de calidad del agua (2005), utilizando los parámetros analizados por CAPA, para los pozos de las comunidades de Tulum, Francisco Uh May, Macario Gómez y José Ma. Pino Suárez, de acuerdo a su cumplimiento con la Norma Oficial Mexicana 127 de la Secretaría de Salud la cual establece los límites máximos permisibles para el agua de uso potable. Posteriormente se calculó el Índice de Calidad del Agua con los parámetros disponibles para cada pozo. Se utilizó la metodología descrita por León, (sin año) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en la cual, presenta una situación más adaptable a las condiciones de nuestro país. El autor explica que la evaluación numérica del ICA, utiliza técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, (Brown *et al*. 1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}]$$

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre cero y uno, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre cero y 100, \prod representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W . Finalmente el ICA que arroja la ecuación anterior es un número entre cero y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del

agua, permite estimar el nivel de contaminación.

Las ponderaciones utilizadas se muestran en la tabla cuatro.

Tabla 4. Parámetros utilizados y pesos asignados para el calculo del ICA, debido a la disponibilidad de información de calidad del agua

Parámetros Utilizado	Peso
Coniformes Fecales	0.16
pH	0.11
Cambio de temperatura	0.1
Nitratos	0.1
Turbiedad	0.08
Sólidos Totales	0.07

El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del agua por los autores se llevo acabo en las siguientes etapas:

I. La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación.

II. Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro (w_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración (SNET, sin año). Las gráficas de los parámetros para calcular los valores de Q_i se muestran en la figura 15.

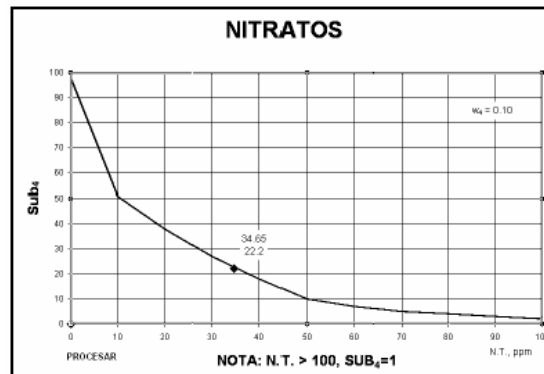
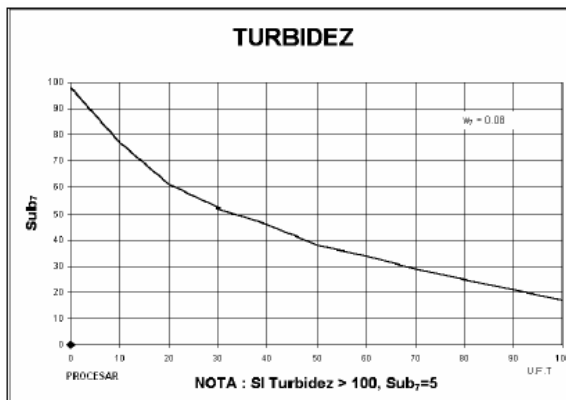
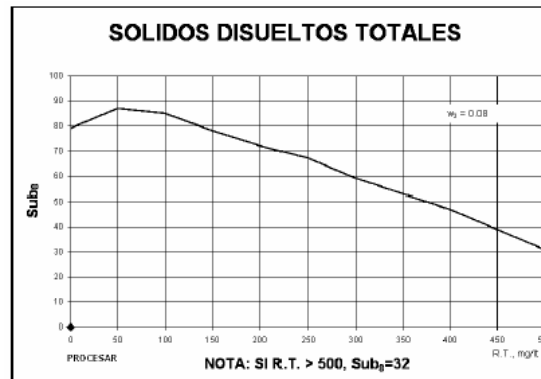
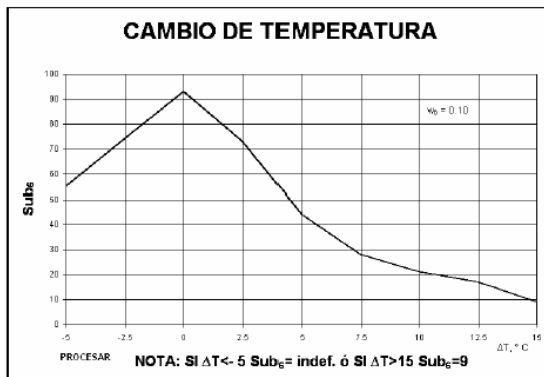
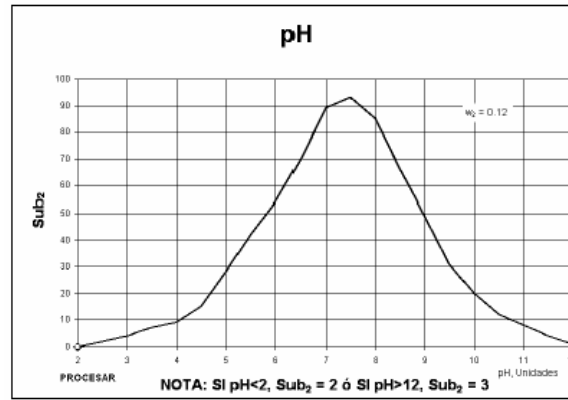
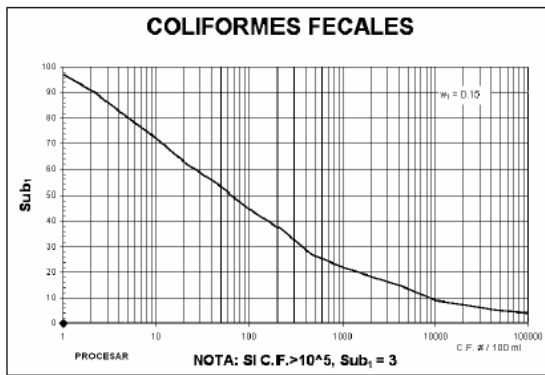


Figura 15. Graficas utilizadas para la estimación de Q_i de los parámetros Coniformes fecales, pH, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales, turbidez y nitratos, (SNET, sin año)

Los parámetros utilizados en esta metodología y los pesos de ponderación utilizados se encuentran en la tabla seis. Un aspecto que se considera importante, es la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la metodología de estimación del ICA se considera que al faltar el valor de alguno de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICA (León, sin año).

Tabla 5. Parámetros y pesos utilizados en el calculo de ICA (Leon sin año)

Parámetros Utilizado	Peso
Coniformes Fecales	0.16
PH	0.11
Cambio de temperatura	0.1
Nitratos	0.1
Turbiedad	0.08
Sólidos Totales	0.07
Factor no utilizado por ausencia de datos	
Oxígeno Disuelto	0.17
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.11
Fosfatos totales	0.1

5.4 Diagnóstico de la problemática

Se elaboró el diagnóstico de la problemática utilizando la información generada y recabada en campo, siguiendo los términos de referencia del PRPC, descrito en el Programa Nacional de Microcuenca. No se llevaron acabo reuniones con las comunidades involucradas pero se conoció su opinión y percepción de la problemática y posibles soluciones a través de la aplicación de encuestas y utilizando la información generada a través de un proceso participativo para elaborar el PRPC de la microregión Cobá elaborado por FIRCO de Quintana Roo. Con el diagnóstico se pudo conocer, medir, interpretar y evaluar los hechos que han existido, explicarse las estructuras vigentes y las tendencias de los posibles cambios en el futuro (SAGARPA, 2002). Se hizo una revisión en gabinete con el objetivo de identificar y recopilar la información básica existente sobre la zona de

trabajo, recurriendo para ello a diversas fuentes de información como cartografía, y estudios realizados en la zona, los cuales se citan en el desarrollo de este trabajo.

5.5 Evaluación de la pertinencia de los elementos de gestión integrada de cuencas para Quintana Roo

Se evaluó en base al ejercicio realizado en la Cuenca Tulum los elementos que se utilizan en el manejo y gestión integrada de cuencas en términos de la pertinencia de: Delimitación y características físicas de una cuenca (Incluyendo el análisis de otras delimitaciones de cuenca), Caracterización biofísica y socioeconómica, Diagnostico de la problemática, Análisis de la Información, Propuesta de proyectos y soluciones, Manejo integrado, Interdisciplinariedad, Ínter institucionalidad, Proceso participativo, Actores Involucrados, Alternativas y acciones de gestión.

Se evaluó describiendo en primera instancia las características del criterio a evaluar, después se analizó la aplicación en la que se incluyen los aspectos de la metodología de este trabajo tal y como se llevaron a la práctica en la región estudiada y por último se describen los resultados incluyendo los datos obtenidos y las consecuencias positivas y negativas de cada uno de los elementos sobre la gestión integrada de cuencas.

5.6 Estrategias de Manejo del Agua y Alternativas de Saneamiento

A través de una revisión bibliográfica y visitas de campo a centros demostrativos de manejo integrado del agua (en el estado de Morelos y Guanajuato) se pudo establecer y seleccionar los mejores escenarios de manejo del recurso y acciones para la conservación de los ecosistemas presentes y su biodiversidad. Los diferentes indicadores ambientales, sociales y económicos analizados en la caracterización y el diagnóstico de la problemática intervinieron en la toma de decisiones.

6 RESULTADOS

6.1 Caracterización de la Cuenca

6.1.1 Caracterización Física

6.1.1.1 Localización

El polígono que conforma la Cuenca “Tulum” se encuentra entre los 3480659 N y 2405369.46 E y 3516321.0 N y 2349364.46 E, coordenadas UTM, en el Municipio de Solidaridad, correspondiente a la porción centro-norte de Quintana Roo, en la Península de Yucatán. Colinda al sur con el límite norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka’an, al este con el municipio de Felipe Carrillo Puerto, al norte con el Municipio de Benito Juárez y al oriente con la Zona Federal Marítimo Terrestre y Mar Caribe.

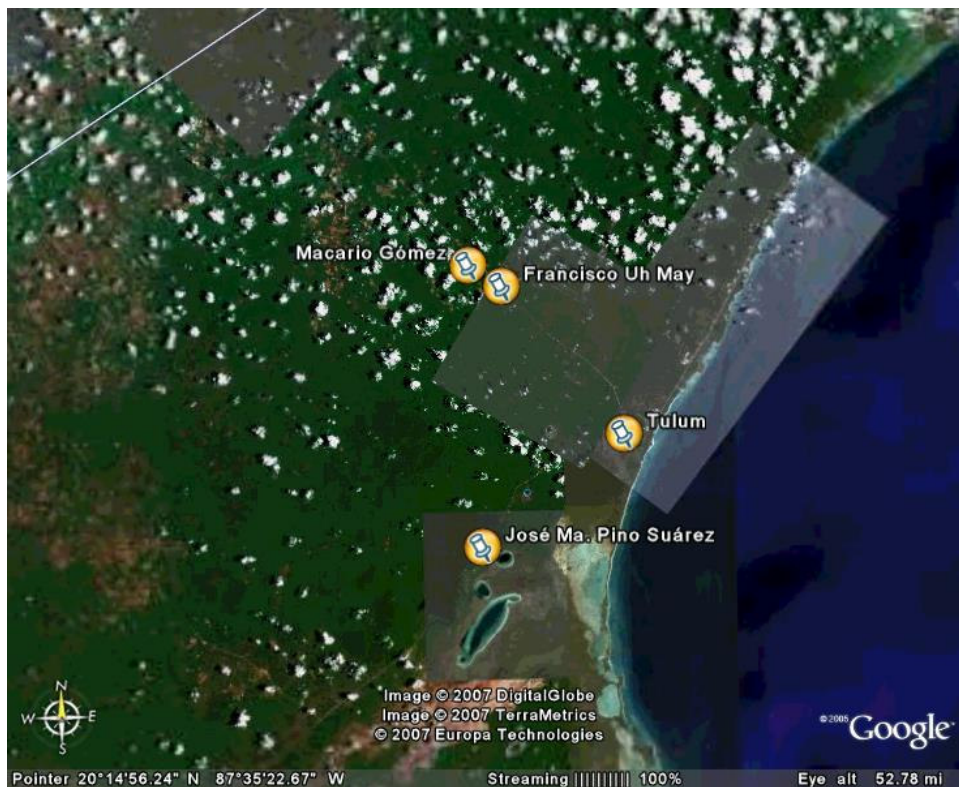


Figura 16. Vista horizontal de la zona que abarca la Cuenca Tulum, incluyendo a las comunidades principales, Francisco Uh May, Macario Gómez, José Ma. Pino Suárez y Tulum, (Google Earth, 2006)

6.1.2 Características Morfológicas

La Cuenca Tulum tiene una extensión de 1,157.84 km², correspondiendo al 26.20% del territorio del municipio de Solidaridad (4,419 km²). La Cuenca tiene un perímetro de 179.5 km. La longitud axial es de 44 km, el ancho medio de la cuenca es de 32 km y el factor de forma es de 0.015 siendo una cuenca más bien alargada. El orden de la cuenca no se pueden determinar, ya que no se pueden identificar los escurrimientos principales debido a que la pendiente del terreno es menor al dos por ciento y el agua se infiltra en la mayor parte del territorio de la Cuenca.

6.1.2.1 Geología

Geológicamente la Península de Yucatán es una estructura relativamente joven, su origen sedimentario se remonta a las formaciones rocosas del Mesozóico, sobre las cuales se han depositado arenas y estructuras de origen orgánico marino que han dado forma a una gigantesca loza caliza (INEGI, 2005).

El marco geológico de Quintana Roo está formado por rocas sedimentarias que fueron originadas en los períodos Terciario y Cuaternario, en los últimos 66 millones de años. Las rocas más antiguas son calizas dolomitizadas, silicificadas, y recristalizadas, de coloración clara y con delgadas intercalaciones de margas y yeso (INEGI, 2005).

En la zona de estudio los estratos geológicos datan de la época Terciaria, Plioceno y Cuaternaria, caracterizándose por presentarse como Coquinas, Calizas y Calizas Arcillosas. Pertenecen a la formación Felipe Carrillo Puerto; y son identificadas por su permeabilidad; pudiéndose clasificar el acuífero como mio pliocénico. Formada por calizas microcristalinas y de diferentes texturas, biomicrita, biospatita, ooespatita, oolítica o biocalcarenita, de facies de plataforma somera y color café claro, amarillo, rojo y blanco. Su estratificación no es

claramente observable aunque aparentemente es de estratos medianos y gruesos, de echado casi horizontal; está constituida por una calcirrudita fosilífera de aproximadamente un metro de espesor que contiene abundantes fragmentos de corales, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos además de foraminíferos, gasterópodos y corales, minerales como calcita diseminada, trazas de yeso y aragonito; también se encuentran calizas compactas con peneroplidae del género *archaias*, considerado como fósil índice de esta formación y calizas arcillosas que al alterarse producen arcillas rojas lateríticas (INEGI, 2005).

El desarrollo geomorfológico de esta región se inicia durante el Terciario Superior, con la emersión de una secuencia carbonatada que ha estado sujeta a una intensa disolución, dando origen a un terreno rocoso, suavemente ondulado, caracterizado por la existencia de numerosos pozos naturales y cavernas de disolución. Esta zona se modificó durante el Cuaternario por la formación de lagunas y arenas pantanosas, así como por la acumulación y litificación de depósitos eólicos (INEGI, 2005).

En la estratigrafía del área se encuentran expuestas rocas carbonatadas y suelos cuya edad varía del Terciario Superior al reciente (Cuaternario). En cuanto a la geología estructural de la zona, como el resto de la Península de Yucatán, se encuentra prácticamente sin deformar. Las rocas calcáreas presentan un echado casi horizontal y forman parte de un gran banco calcáreo que descansa en un basamento metamórfico del Paleozoico. Potencialmente es importante el agua subterránea almacenada en las rocas calcáreas terciarias. Los suelos lateríticos, acumulados como residuo de la disolución de las calizas, carecen de importancia económica ya que solo tienen unos cuantos centímetros de espesor, es muy alto su contenido de sílice y muy bajo el de aluminio (Bonet, *et al.*, 1963).

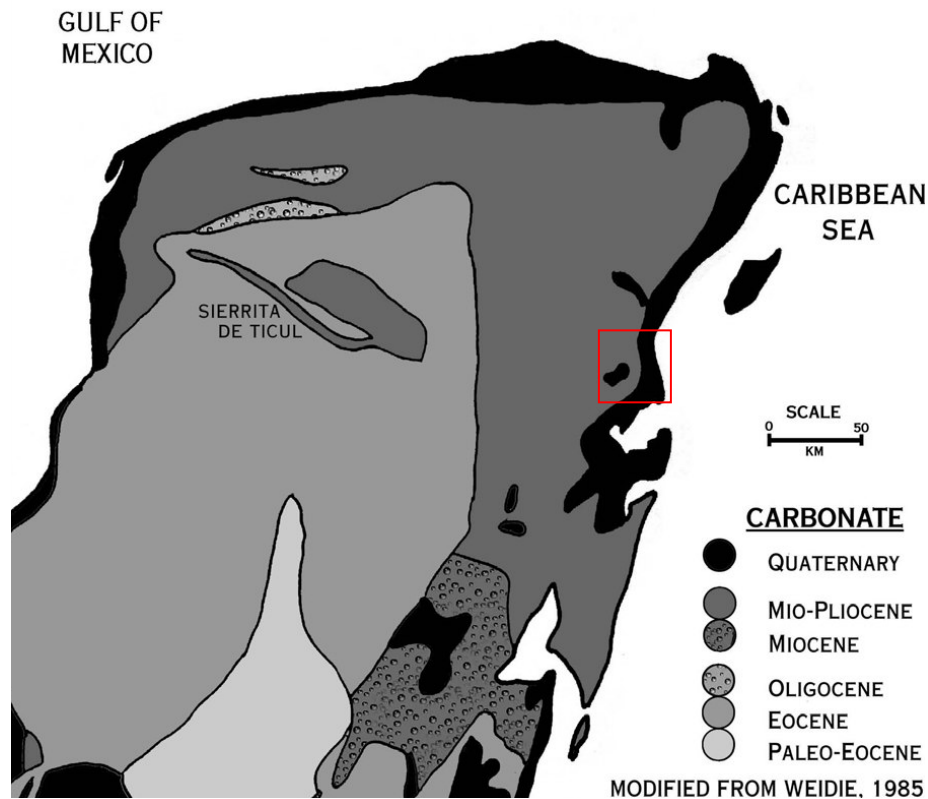


Figura 17. Geología de la Península de Yucatán, recuadro rojo ubicación de la cuenca Tulum, (Modificado de Weidie, 1985 en Beddows, 2004)

6.1.2.2 Fisiografía

El Estado de Quintana Roo está comprendido en la provincia fisiográfica de Yucatán o Karst Yucateco, la cual a su vez se divide en tres subprovincias denominadas: “Carso y lomeríos de Campeche”, “Carso Yucateco” y “Costa Baja de Quintana Roo”; la zona de estudio está inmersa en Carso Yucateco y Costa baja de Quintana Roo. La subprovincia Costa Baja, se extiende a lo largo del borde centro-oriental del estado y se caracteriza por su relieve escalonado, descendente de poniente a oriente, con reducida elevación sobre el nivel medio del mar (PDUT, 2006). El Carso Yucateco ocupa las porciones centro y norte del estado, está formada en un una losa calcárea cuya topografía se caracteriza por la presencia de carsticidad, ligera pendiente descendente hacia el oriente y hacia el

norte hasta el nivel del mar; con un relieve ondulado en el que se alternan crestas y depresiones. Dada la solubilidad de las rocas, son frecuentes las dolinas y depresiones en donde se acumulan arcillas de descalsificación, muestran en términos generales una superficie rocosa con ligeras ondulaciones y carecen en casi toda su extensión de un sistema de drenaje superficial (INEGI, 2005).

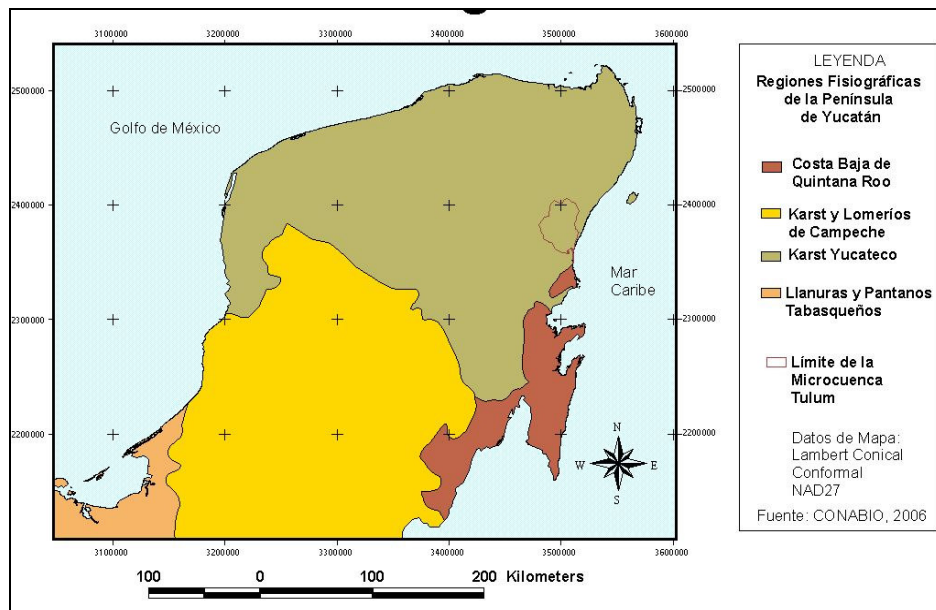


Figura 18. Fisiografía de la Península de Yucatán, incluyendo la Cuenca Tulum, Proyección Cónica Conforme de Lambert, (CONABIO, 2006)

6.1.2.3 Clima

El clima predominante es de tipo Aw1 (x') también se presenta de tipo Aw2 (x'), (Figura 19) siendo estos de tipo cálido sub húmedo. El subtipo climático AW1 (Temperatura media anual 25°C, precipitación media anual 1224.7 mm/año), corresponde al 88.3% y el subtipo AW2 (Temperatura media anual 25.8° C, precipitación media anual 1288.2 mm/año) al 11.7% del territorio de la cuenca. Siendo la precipitación y la temperatura elevada la mayor parte del año. La temperatura media anual para la cuenca es 25.78°C, debido a su relieve plano (altura media de 10 msnm), su localización entre los 18 y 20 grados de latitud al norte del Ecuador y la influencia húmeda del Mar Caribe. El mes de enero es el menos cálido y los meses de abril a agosto los más calurosos.

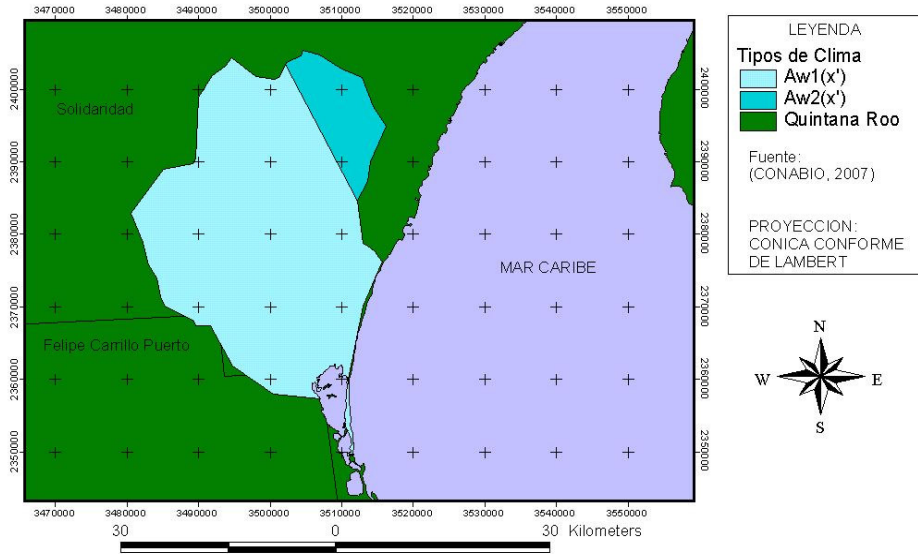


Figura 19. Tipos de Clima de la cuenca Tulum, Aw2 y AW1, proyección Cónica Conforme de Lamber (CONABIO, 2006)

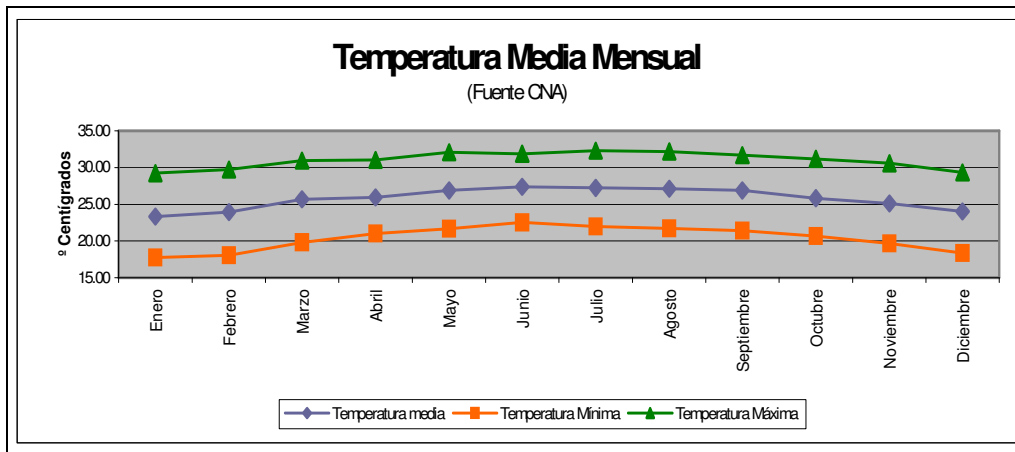


Figura 20. Temperatura Media Mensual de la Cuenca (CNA, 2006)

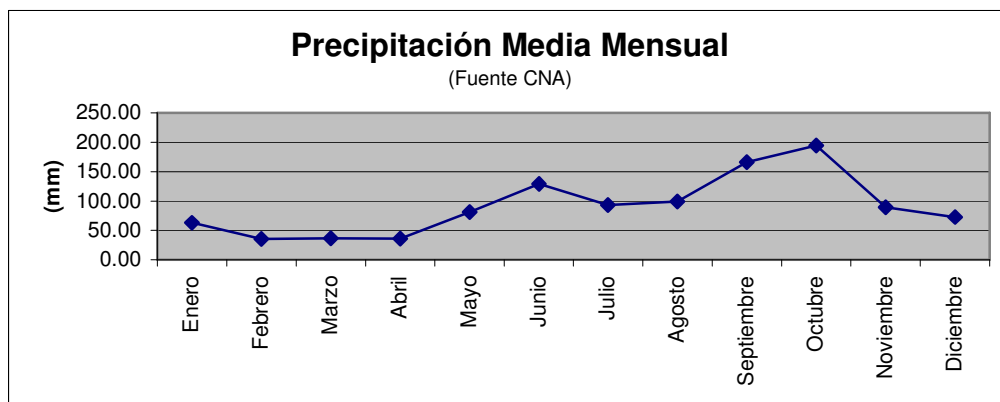


Figura 21. Precipitación Media Mensual de la Cuenca (CNA, 2006)

Entre los diferentes fenómenos meteorológicos que tienen importante incidencia por la situación geográfica del estado se encuentran los huracanes, son el fenómeno más catastrófico, se forman a partir de una tormenta tropical y afectan a las costas de Quintana Roo en dos matrices: una en el Mar Caribe frente a las costas de Venezuela y Trinidad; y la otra en el Atlántico oriental, que después de atravesar América Central y las Antillas Menores, doblan hacia el norte para dirigirse a las costas de Florida.

La temporada de estos eventos es de junio a noviembre, siendo septiembre el mes más crítico. De acuerdo con Gentry (1971) (en PDUT, 2006), la frecuencia de incidencia de estos meteoros es de 1.59 depresiones por año, con base a las estadísticas para la región del Caribe de los años 1968 al 1986 en el área comprendida entre los 20 y 25 grados de latitud norte y los 85 y 90 grados de longitud oeste, donde se encuentra Puerto Morelos. Sin embargo un cálculo similar realizado con información local (Merino *et al.*, 1991, en PDUT, 2006) utilizando los datos del período comprendido entre 1960 y 1988 indicó una frecuencia de 0.62 depresiones por año atravesando la misma área.

En particular, Quintana Roo es la zona de mayor incidencia de huracanes en la República Mexicana. El 46% de los huracanes que tocaron costas mexicanas en un periodo de 50 años, pasaron por este estado. Quintana Roo han sido tocado por más de 30 huracanes en los últimos 25 años, principalmente la zona norte y centro del Estado (PDUT, 2006).

Los fuertes vientos, el oleaje generado por los mismos y las ondas de tormenta que elevan considerablemente el nivel del mar pueden causar efectos destructivos en la zona costera. Los vientos generados por el huracán Gilberto en 1988 registraron velocidades de hasta 320 kilómetros por hora, causando grandes destrozos en la zona costera. Ahora son los huracanes los principales factores de erosión en playas con desarrollo hotelero.



Figura 22. Huracán Dean ,Agosto 20057

<http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/rita/images/hurricane-ritaLG.jpg>

El último huracán que se acercó a la Península de Yucatán fue Dean (categoría cinco) en agosto de 2007, dañando el 40% de la RBSK en la parte sur, generando erosión de playas y afectaciones a la duna costera, el manglar y la selva, además de que desapareció por completo pequeñas comunidades de pescadores ubicados en sus costas (Yahoo noticias, 2007) y la zona de Chetumal al sur del Estado. El Huracán Anterior Willma el cual atravesó la Península el 19 de octubre del 2005, desprendió gran cantidad de árboles y arbustos produciendo cientos de toneladas de material vegetal combustible, lo que puede generar incendios de grandes proporciones una vez que llega la temporada de estiaje (PDUT, 2006). De igual forma durante y después de su impacto los huracanes dejan a las poblaciones sin servicio eléctrico y por consecuencia sin dotación de agua potable, e incomunicadas.

Otros fenómenos que afectan a esta zona son las tormentas tropicales, son similares en temporada, estructura y comportamiento a los huracanes, sólo que no desarrollan velocidades de viento tan altas; los Nortes, que son masas de aire húmedas y frías que provienen del norte del Océano Atlántico, así como del continente y que alcanzan altas velocidades. Provocan grandes descargas de agua acompañadas de vientos hasta de 100 km/hr, lo que hace descender la temperatura local considerablemente. Estos fenómenos se presentan en los meses de noviembre a febrero, y eventualmente hasta marzo. Se considera que los Nortes son uno de los principales factores que contribuyen al proceso de erosión de las playas en el estado; los vientos dominantes de febrero a julio son

los alisios, provenientes del sureste con velocidades de 10 km/hr en promedio y hasta 30 km/hr durante perturbaciones tropicales (López *et al.*, 1994). Se presentan vientos del norte durante los meses de invierno, particularmente de noviembre a marzo. Independientemente de que se trate de huracán, tormenta tropical o norte, estos fenómenos son importantes agentes en la modificación de las costas de Quintana Roo. La fuerza del embate, ocasiona muerte a la flora y fauna del litoral. Estas pérdidas además, se presentan en extensiones considerables. Las comunidades vegetales costeras, en particular la duna y el manglar sufren rupturas, desgajamiento y “quemaduras” por sal marina, de tal forma que se modifica temporalmente el paisaje (PDUT, 2006).

6.1.2.4 Suelos

Quintana Roo presenta suelos poco profundos y en asociaciones de dos o más tipos, donde predominan los litosoles y las rendzinas. La entidad se distingue por la predominancia de suelos someros y pedregosos, de colores que van del rojo al negro, pasando por diversas tonalidades de café. En el área objeto del estudio predominan los litosoles, que son suelos muy someros, por lo regular con espesores menores de 30 cm, reposando sobre el material calcáreo, con más de 40% de carbonato de calcio; con un contenido de materia orgánica entre seis y 15%; presentan fase física (lítica), pero no química y tienen buen drenaje. En algunas partes las rendzinas se asocian con litosoles de textura media y alta permeabilidad. Estos suelos presentan abundante pedregosidad o afloramiento de la coraza calcárea, son suelos que varían en color de café claro a casi negro, con textura arenosa con 10 a 30% de arcilla y presentan un buen drenaje, que favorece la infiltración de las aguas meteorológicas.

El gelysol tiene textura fina y el regosol calcáreo representa depósitos arenosos de la costa con profundidades no mayores de 50 cm de textura franca o de migajón arcilloso manifiesta ya un ligero desarrollo en su estructura, con un contenido de materia orgánica entre 4.5 y 15.8% en la parte superficial. Presenta fase lítica,

salina y sódica, con alto contenido de carbonato de calcio activo en el perfil y con deficiente drenaje.

El suelo tipo solonchak se extiende a lo largo de la costa y sus inmediaciones, el nivel freático se encuentra a 30 cm de la superficie y la alta salinidad que es una de sus características más importantes. Presentan baja permeabilidad, valores de conductividad eléctrica alrededor de los 20 mmhos/cm a 60 mmhos/cm. Son suelos alcalinos ricos en calcio y magnesio bajos en fósforo (INEGI, 2002).

En Quintana Roo los suelos siguen denominándose de acuerdo a la clasificación Maya, Ceballos (1993) indica que este sistema de clasificación utiliza términos, cuyas raíces explican algunas propiedades del suelo como topografía, pedregosidad, color, cantidad de materia orgánica, presencia de óxidos de hierro, drenaje y fertilidad. Por ejemplo el Ak'alche es tierra en bajos que se inundan y definen al suelo gleysol móllico y eútrico, el Huntunich corresponde a tierra que proviene de piedras y es el regosol calcárico y el tipo de suelo predominante es el Tzek'el, suelo Pedregoso denominado Litosol (UQROO, 2000).

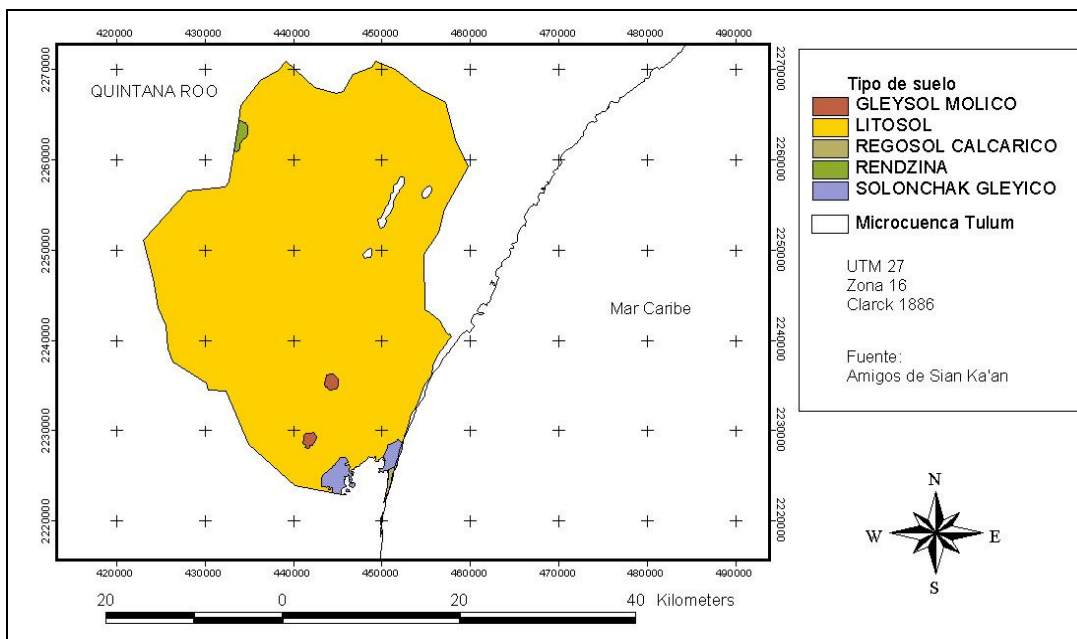
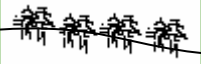
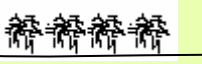




Figura 23. Tipo de suelos en la Cuenca Tulum, Proyección UTM 27, Zona 16, (ASK, 2006)

Transecto de la Cuenca

Tabla 6. Transecto de la Cuenca, elaborado en base a observaciones en visita de campo 2006.

Zona de la cuenca	 Norte	 Centro	 Sur	 Zona Costera
Descripción	Norte	Centro	Sur	Zona Costera
Uso	Vegetación conservada	Zonas Rurales, agricultura autoconsumo ganadería extensiva	Zona Urbano-Rural	Uso Turístico zona hotelera de baja densidad
Suelo	Poco profundos Alta permeabilidad	Poco Profundos Alta permeabilidad	Poco Profundos Alta permeabilidad	Depósitos arenosos, alta salinidad
Agua	Presencia de cenotes Acuífero de tipo libre	Presencia de cenotes Acuífero de tipo libre Pozos de extracción de agua potable	Presencia de laguna y cenotes Acuífero de tipo libre, ríos subterráneos	Nivel freático a 30 cm de la superficie Salidas de ríos subterráneos al mar
Vegetación	Selva Mediana Subperenifolia	Selva mediana subcadusifolia	Selva baja subperenifolia y subcaducifolia	Manglar y duna costera
Geoforma	Relieve escalonado con pendiente menor al dos por ciento	Relieve escalonado con pendiente menor al dos por ciento	Relieve escalonado con pendiente menor al dos por ciento	Dunas costeras y laguna Arrecifal
Infraestructura	Inexistente	Luz, agua potable intermitente, carretera Tulum-Cobá	Luz, Agua potable, Carretera Tulum-Cobá y Tulum-Cancún, Aeropista, sólo un fracc. con drenaje	Zona Hotelera de baja densidad, camino costero terracería, luz no hay servicio de agua potable ni drenaje
Quien trabaja		Algunos comercios, turismo en cenotes	Comercios y servicios, Turismo	Turismo
Problemática		Falta de drenaje, pavimentación, alumbrado público, servicio de salud, desmonte de selvas por predios. Tiradero a un km de los pozos de extracción de agua potable	Falta de drenaje en la zona urbana Tulum, falta de pavimentación y alumbrado público. Falta de luz en comunidad José Ma. Pino Suárez Crecimiento urbano y de la zona turística.	Falta de drenaje, y abastecimiento de agua potable Crecimiento turístico Problemas de intrusión salina por explotación de acuífero

6.1.2.5 Hidrología

6.1.2.5.1 Hidrología Superficial

De acuerdo a la clasificación hidrológica de la Comisión Nacional del Agua (2002), la zona de estudio se encuentra enclavada en la Región Hidrológica No. 32 (Yucatán Norte). En esta zona, no se encuentran escurrimientos superficiales de importancia y los que existen son de régimen transitorio, bajo caudal, muy corto recorrido y desembocan a depresiones topográficas donde forman lagunas o existe la presencia de cenotes; éstas son efímeras y la mayoría se localizan hacia el oriente, es decir en la zona costera como la laguna del ejido Pino Suárez, que es permanente debido a que en ellas aflora la superficie freática (UQROO, 2000).

En la cuenca también se observaron cenotes, los cuales, según pláticas con pobladores los utilizan para extraer agua para consumo humano o para uso recreativo-turístico, como el cenote Carwash localizado en la carretera Tulum-Cobá.



Figura 24. Laguna Nopalitos, adyacente a la comunidad de José Ma. Pino Suárez

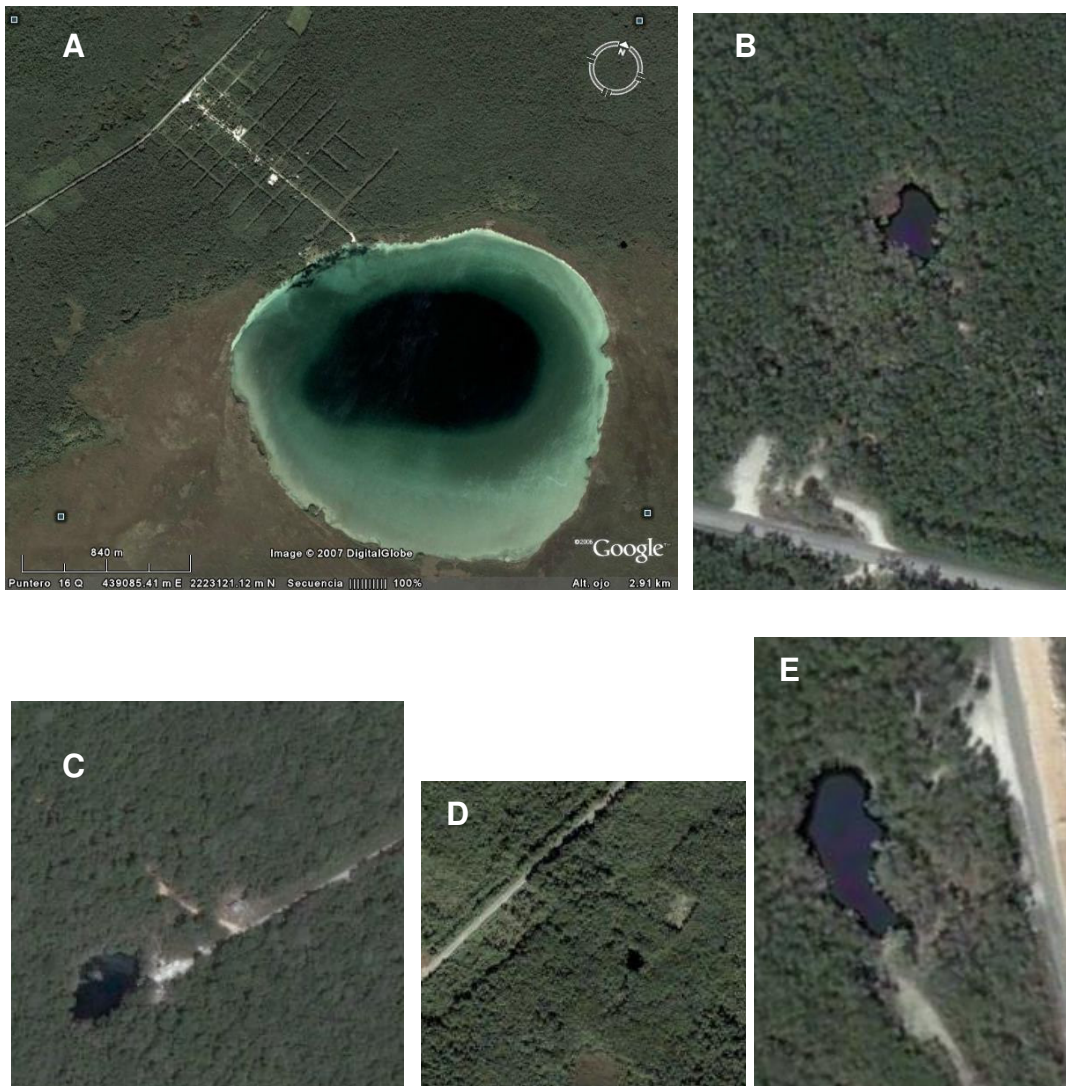


Figura 25. Imágenes de cenotes dentro de la cuenca

A) Adyacente a localidad Jose Ma. Pino Suárez, B) Adyacente a carretera Tulum-Cobá
 C) Norte de la cuenca Tulum D) y E) Adyacente carretera Tulum-Cobá (Google Earth, 2006)

6.1.2.5.2 Hidrología Subterránea

El acuífero es de tipo freático, con marcada heterogeneidad respecto a sus características hidráulicas. El acuífero presenta notable desarrollo cárstico, con gran permeabilidad, a la vez cuenta con espectaculares manifestaciones superficiales (cenotes de gran tamaño) y formación de “ríos subterráneos”

(cavernas) de grandes longitudes. Estos se han formado por los procesos geoquímicos de disolución los cuales atraviesan principalmente en su parte costera del área de estudio, haciendo que sean la parte más susceptible a contaminación. La circulación natural del agua en el subsuelo es controlada por la estructura geológica (PDUT, 2006).

En cuanto a los niveles de agua subterránea, actuando simultánea o alternadamente, la recarga y la descarga del acuífero provocan oscilaciones estacionales de sus niveles de agua, abatimiento en la época de estiaje y ascenso en la temporada de lluvia (PDUT, 2006).

La cuña de agua salada que subyace al acuífero dulce y la gran sensibilidad de la interfase salina al abatimiento de los niveles freáticos, imponen severas restricciones a la profundidad de los pozos de explotación y al gasto que estos pueden extraer sin deteriorar la calidad del agua, especialmente en la zona costera (PDUT, 2006).

6.1.2.6 Vegetación

La vegetación del Municipio de Solidaridad está conformada por selva mediana subperennifolia (SMSP) y subcadusifolia, y selva baja subperennifolia y cadusifolia, consideradas como los tipos de vegetación más importantes por su continuidad y extensión en Quintana Roo. Estas selvas son particularmente valiosas para la explotación forestal debido a la presencia de maderas preciosas como la caoba y el cedro. Otras agrupaciones vegetales del Municipio están determinadas por el elemento edáfico, entre ellas se encuentran: selva baja inundable, manglar, sabana, tintal, corozal, chechenal, tasistal, carrizal (saibal, tular) y dunas costeras. En el Municipio, la agricultura y el pastizal no ocupan extensiones significativas. En la carta de vegetación de INEGI muestra que la mayoría, cerca del 90%, de la vegetación presente en la zona de estudio, es del tipo de SMSP incluyendo la zona costera (Cabrera *et al.*, 1982).

La selva mediana subperennifolia y se caracteriza porque del 25 al 50% de sus especies pierden sus hojas durante la época seca del año. Se constituye por varios estratos entre los siete y los 25 m de altura, un estrato arbustivo, otro herbáceo compuesto por plántulas de las especies arbóreas, hay algunas especies de suculentas y algunas secundarias, con gran cantidad de trepadoras o epífitas (Cabrera *et al*, 1982, en PDUT, 2006). Las especies arbóreas que generalmente dominan en esta comunidad se describen en la tabla

Tabla 7. Especies arbóreas dominantes de la sela mediana subperenifolia

Nombre Científico
<i>Bursera simaruba</i>
<i>Drypetes</i> sp
<i>Manilkara zapota</i>
<i>Nectandra coriacea</i>
<i>Psidium sartorianum</i>
<i>Talisia olivaeformis</i>
<i>Vitex gaumeri</i>
<i>Thrinax radiata</i>
<i>Metopium brownei</i> ,
<i>Brosimum alicastrum</i>

Registros sobre la flora que circunda a la zona arqueológica de Cobá, hacen mención de algunas otras especies sobresalientes, como son la ceiba (*Ceiba pentandra*), el balché (*Lonchocarpus longistylus*), el palo de corcho (*Anona glabra*), entre otras (INAH, 1983, en PDUT, 2006).

El humedal se desarrolla principalmente en la zona entre la carretera federal y la línea de costa y circundando las lagunas costeras. La vegetación esta conformada por zacates del tipo de *Cladium jamaicense* y mangle mixto chaparro con la presencia de las cuatro especies de manglar (PDUT,2006).

Tabla 8. Lista de especies observadas en humedal por familia, nombre común y nombre científico, (PDUT, 2006)

Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Apocynaceae	<i>Rhabdadenia biflora</i>	Bejuco de manglar
Bromeliaceae	<i>Tillandsia dasyrillifolia</i>	
	<i>Tillandsia bilbosa</i>	Alacrancillo
	<i>Aechmea bracteata</i>	X-chu
Cactaceae	<i>Selenicereus testudo</i>	
	<i>Aporocactus flageliformis</i>	Flor de látigo
Cyperaceae	<i>Cladium jamaicense</i>	Zacate cortadera
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle botoncillo
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle Blanco
Orchidaceae	<i>Schomburgkia tibicinis</i>	Orquídea de manglar
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo
Theophrastaceae	<i>Jacquinia aruantiaca</i>	Muyche, Naranjillo
Verbenaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro

Las especies de relevancia forestal más importantes en la zona son el cedro rojo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y el guayacán (*Guaiacum sanctum*). Otras especies sobresalientes son el chechén (*Metopium brownei*), el habin (*Piscidia piscipula*) y el dzalam (*Lysiloma latisiliqua*) (PDUT, 2006).

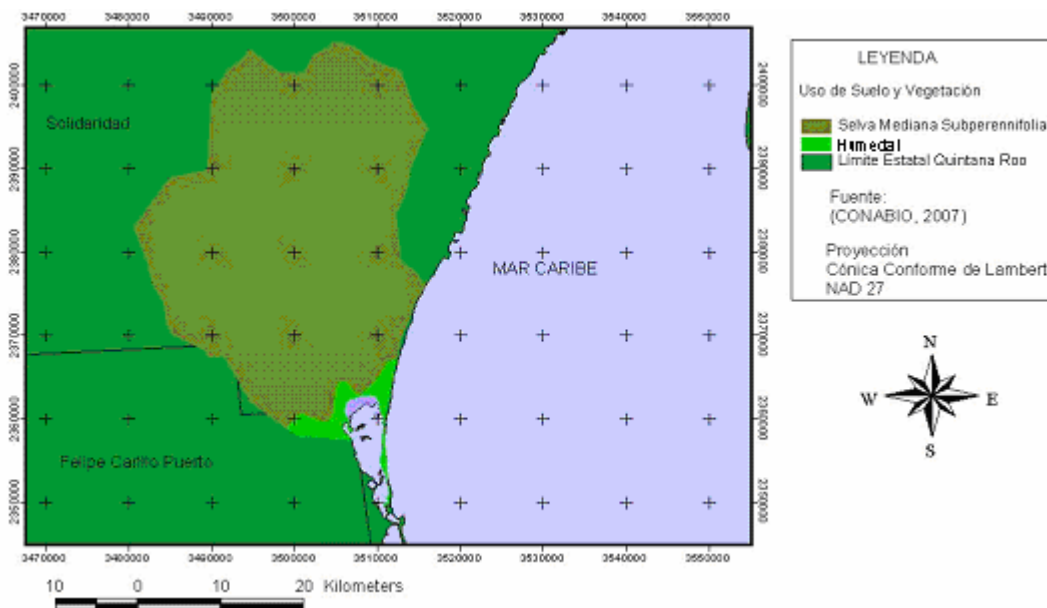


Figura 26. Tipos de vegetación en la Cuenca Tulum, Proyección Cónica Conforme de Lambert, (CONABIO, 2006)

Tabla 9. Tipos de vegetación y porcentajes de cobertura en la cuenca estimado en base a los datos de la capa de CONABIO, (2006), en proyección Cónica Conforme de Lambert.

Tipo de vegetación	% de cobertura
Selva mediana subperenifolia	95
Vegetación acuática	5

6.1.2.7 Fauna

Quintana Roo, por su posición geográfica y las características de su flora, es considerada un área rica en vida silvestre. Dentro del variado mosaico ambiental del Estado, un número notable de especies faunísticas encuentra su hábitat apropiado. Ocupa el 19° lugar en el país en cuanto a diversidad de vertebrados endémicos a Mesoamérica y endémicos al estado. Según la CONABIO (2006), el grupo de organismos más abundante son las aves, con aproximadamente 340 especies; de acuerdo con Paynter (1955), en (PDUT, 2006), su presencia, distribución y abundancia se ve favorecida principalmente por los diferentes tipos de hábitat que se presentan y a la gran capacidad de adaptación que poseen estos organismos. El segundo lugar lo ocupan los mamíferos: 43 especies terrestres, ocho acuáticas y 39 voladoras. La clase reptilia está representada en por 56 especies, destacando la víbora de cascabel, nauyaca o cuatro narices (*Bothrops asper*) las iguanas y los cocodrilos (Genoways *et al.*, 1975 en PDUT, 2006), las tortugas terrestres y dulceacuícolas (*Rhynoclemys* sp.). Asimismo, encontramos a los anfibios con aproximadamente 11 especies (Duellman, 1965 y Lee, 1980, en PDUT, 2006) como *Bufo valliceps*, *Rana* sp, *Hyla stauffery*, *Hyla microcephala*, *Hyla loquas*, *Leptodactylus melanonotus*, *Hypopachus cuneus*, *Agalichmis calidris*, *Smilisca baudini*, *Rhyrunobyas vemulosa* (PDUT, 2006) y a los peces con 16 especies.

Entre los mamíferos mayores, cabe destacar la presencia en el estado de las cinco especies de felinos neotropicales: jaguar (*Panthera onca*), puma (*Felis concolor*), ocelote, (*Leopardus wiedii*), yaguarundi (*Hepailurus jafuarundi*), tigrillo (*Leopardos pardales*) Navarro *et al.* (1990). Destacan también el mono aullador o

saraguato (*Alouatta pigra*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*) venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), venado temazate (*Mazama americana*) jabalí de labios blancos (*Tayassu pecari*), jabali de collar (*Pecari tajacu*), Tepescuintle (*Agouti paca*), sereque (*Dasyprocta punctata*), taira (*Eira barbara*), oso hormiguero (*Tamandua tetradáctila*) y mico de noche (*Potos flavus*). Sin embargo, es importante mencionar que hacen falta muchos estudios para obtener información más detallada con respecto a las especies que habitan el estado (PDUT, 2006).

La información de listados de especies para esta región se recopiló de diferentes fuentes pero realmente no existe un trabajo que especifique las especies encontradas en las zonas de la cuenca que no son área natural protegida, por lo que se incluyeron las especies mencionadas para el estado o el municipio.

6.1.2.8 Áreas Naturales Protegidas

6.1.2.8.1 Reserva de la Biosfera Sian Ka'an

Tres áreas naturales protegidas importantes se encuentran presentes en esta zona, la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (RBSK), con (528,147 ha), la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an (34,927 ha) y Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil (89,118 ha). La RBSK fue ubicada por un estudio elaborado por la UICN, en 1997, entre los 39 sitios del mundo con mayor valor ya que cumplió con cuatro de los seis criterios evaluados, estos son: por contener recursos de humedales y zonas marinas, por contener valores en humedales de agua dulce, el componente de recursos marino-costeros, recursos de manglares y arrecifes de coral. Las otras dos categorías incluidas en el estudio fueron por contener islas y por contener lagos o ríos subterráneos. Si bien en RBSK existen ambos sistemas naturales, es posible que estas no fueran incluidas por la falta de estudios y caracterización, en particular del sistema acuífero subterráneo. A estos resultados habría que añadir la importancia de la superficie terrestre de la Reserva, las selvas bajas inundables endémicas a la Península de Yucatán y los "Petenes", como asociaciones vegetales exclusivas de las Penínsulas de Florida y Yucatán. La RBSK contiene también los hábitat naturales de mayor importancia

para la conservación de la biodiversidad in situ, incluyendo especies amenazadas o en peligro de extinción con valor excepcional universal desde el punto de vista de la ciencia o la conservación (Ramsar, 2003).

Para destacar aún más la importancia de la RBSK, es necesario mencionar que forma parte de la red de reservas de la biosfera establecida por el programa “El Hombre y la Biosfera”, ha sido designada como patrimonio de la humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 1987 y fue decretada como Sitio Ramsar (Convenio de humedales de importancia internacional) desde 2003 (Ramsar, 2003). La Comisión Nacional para el Conocimiento, Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO) la considera como sitio prioritario de conservación, particularmente en términos de biodiversidad y su cuenca. Se encuentra también en la lista de Área de Conservación de Aves Importantes (AICAS) en México. Es considerada como zona de humedales prioritarios por el Consejo de Conservación de Humedales de Norte América (NAWCC), marcado con el número 20 y forma un componente clave para dos iniciativas del Banco Mundial Bank Global Environmental Facility (GEF), El Corredor Biológico Mesoamericano y El Sistema Arrecifal Mesoamericano (MBRS) (RAMSAR, 2003).

La RBSK se encuentra regulada por diferentes instrumentos como son: El decreto de la RBSK, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en 1986; el programa de manejo publicado en el DOF en 1996; el decreto de la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka’an publicado en el DOF en 1998 y el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET) de la Zona Costera de la RBSK publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado en el 2002.

6.1.2.8.2 Parque Nacional Tulum

El Parque Nacional Tulum fue decretado el 23 de abril de 1981, con una superficie de 664 hectáreas. Según la descripción que hace la CONANP (2006) del Parque se observan tres tipos de vegetación en el Parque: duna costera, manglar y selva mediana subperennifolia con especies dominantes como *Thrinax radiata* palma chit y *Metopium brownii* chechem negro, *Canavalia rosea*, *Ipomoea pescapare* y *Ambrosia hispida*; se observa una asociación de *Erithalis-Ernodea-Pouteria-Trinax*, comunidad arbustiva de hasta cinco metros de altura. Se observan restos de las plantaciones de coco *Cocos nucifera*.

La zona arqueológica se encuentra adyacente al parque. Es un buen ejemplo de la arquitectura de los últimos tiempos mayas, de los recintos fortificados para defensa de la población, de los puertos de embarque para el comercio marítimo y del posterior estilo que imperó en Chichén Itzá, Mayapán, Xelhá, Ichpaatun, Chacchob y otros centros amurallados. El nombre de Tulum (cerco, seto en maya) le fue dado al lugar a principios de siglo; pero el original prehispánico parece haber sido Zana (amanecer). Se trata de un área rectangular de casi 400 metros de largo por 170 de ancho, limitada entre sus lados por una muralla de piedra, y en el oriental por los acantilados (CONANP, 2006).

La importancia de Tulum estriba fundamentalmente en las características arqueológicas, las acciones dirigidas al medio natural han sido olvidadas en gran medida, de modo que este aspecto ha pasado a segundo plano, convirtiéndose las zonas de manglar y de selva mediana subperennifolia en basureros. Actualmente lo poco que queda de este parque nacional sigue siendo afectado por la construcción urbana, el saqueo de material vegetal, la construcción de un tren turístico, sus terrenos se encuentran invadidos por un cordón de puestos comerciales de artesanías. Debido a que este sitio es un destino turístico de gran importancia, frecuentemente se pisotea el aspecto de la naturaleza en un afán por ofrecer al turismo la experiencia arqueológica únicamente (CONANP, 2006).

El parque nacional se sobrepone con la Zona de Monumento Arqueológico, siendo más grande ésta última con 27.1757 hectáreas decretada en el Diario Oficial el ocho de diciembre de 1993. El programa de manejo se encuentra en elaboración (CONANP, 2006)

El Parque Nacional Tulum está siendo afectado por la construcción urbana, el saqueo de material vegetal, la construcción de un tren turístico, la presencia de puestos comerciales de artesanías para los turistas y la gran cantidad de basura arrojada a las zonas de manglar y de selva mediana subperennifolia (CONABIO, 2006).

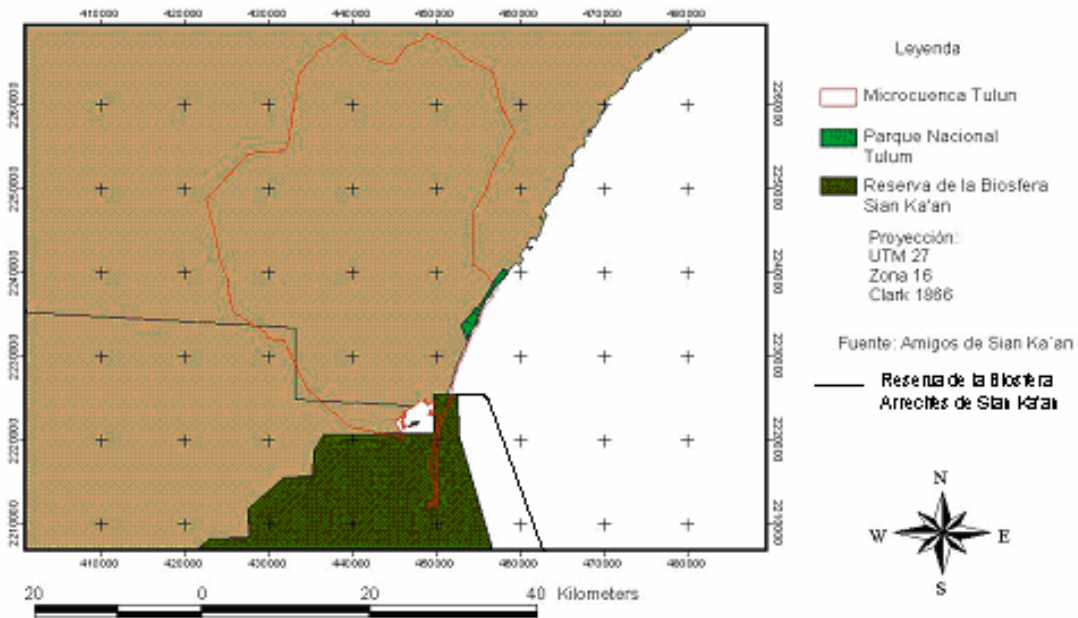


Figura 27. Ubicación del polígono del Parque Nacional Tulum, (ASK, 2006)

6.1.3 Caracterización Social

Figura 28. Disco monolítico Maya, (Portal del Gobierno de Quintana Roo, 2006)



6.1.3.1 Historia

El actual territorio del municipio de Solidaridad pertenecía en su mayor parte al cacicazgo de Ecab, a los cuales pertenecían entre otras las localidades de Tulum, Cobá, Xamanhá (actualmente Playa del Carmen), Tancah y Polé. En las crónicas de los españoles se describe a Tulum como una ciudad tan grande como Sevilla. La región fue conquistada en 1526 por Francisco de Montejo quien fundó la villa de Salamanca en donde actualmente se encuentra Xel-Ha. Durante la época colonial la región permaneció casi deshabitada y no fue hasta el presente siglo cuando se fundaron campamentos para la explotación del chicle y la madera. Desde la integración del Territorio de Quintana Roo perteneció a la Delegación de Cozumel y más tarde con la creación del Estado de Quintana Roo perteneció al municipio de Cozumel, hasta que en 1993 por Decreto del Gobierno del Estado se crea el municipio de Solidaridad que comprende el territorio de la parte continental que pertenecía al municipio de Cozumel. Esteban Quiam López fue el primer comisariado ejidal del municipio en de Playa del Carmen, trabajó de manera entusiasta por el desarrollo del lugar; colaboró en el trazado las calles, impulsó la apertura de la primera panadería y el primer cine del lugar. En reconocimiento a su labor, las familias fundadoras de Playa del Carmen acordaron darle el honroso nombramiento de “El Fundador” (Portal Gobierno, 2006).

6.1.3.2 Población

Los habitantes del a cuenca Tulum se encuentran distribuidos en cuatro localidades principalmente, siendo Tulum la más poblada (ver tabla 10), 14 rancherías, de las cuales en el censo de población y vivienda 2000, las presentan con un habitante y 53 establecimientos hoteleros (ver tabla 37). En la figura 29 se

muestra la distribución de las poblaciones, ranchos y establecimientos hoteleros.

Datos del INEGI de 1995 indicaban para el municipio de Solidaridad una población total de 28,747 habitantes, de los cuales 17,621 residían en Playa del Carmen y 3,603 en Tulum, la localidad más habitada después de la cabecera Municipal. Actualmente, en Solidaridad se estima una población media para el 2006 de 151,243 habitantes, de los cuales 79,015 son hombres y 72,228 son mujeres, lo que en términos porcentuales representa el 12.60% del total de la población estatal, con una tasa de crecimiento anual del 11.31%. Según datos de la Dirección Estatal del Registro Civil, en el 2005 se registraron 2,710 nacimientos, 3,060 matrimonios, 650 divorcios y 237 defunciones; este municipio por su extensión territorial ocupa el cuarto lugar a nivel estatal ya que cuenta con 4,419 km² (8.69% del total estatal), y una densidad de población de 33.41 hab/km² (COESPO, 2006).

Tabla 10. No de habitantes en las poblaciones de la cuenca Tulum, datos del censo de población y vivienda INEGI 2000, Conteo de población y vivienda INEGI 2005 A) Rancherías, B) Poblaciones

A) Rancherías	Población Censo 2000
Ave Fénix	1
San Isidro	1
Santa Marta Fracción I	1
Laguna Madera	1
El Titánica	1
Audomaro Pat Be	1
Pedro Gómez Villegas	1
El Grano de Oro	1
Los Pinos	1
El Tatich	1
San Agustín	1
Tres Hermanos	1
El Pedregal	1
Gerardo Mota	1

B) Poblaciones	No. Habitantes Censo 2000	No Habitantes Conteo 2005
Francisco Uh May	338	352
Macario Gómez	254	285
Tulum	6,733	14,790
Pino Suárez	92	225

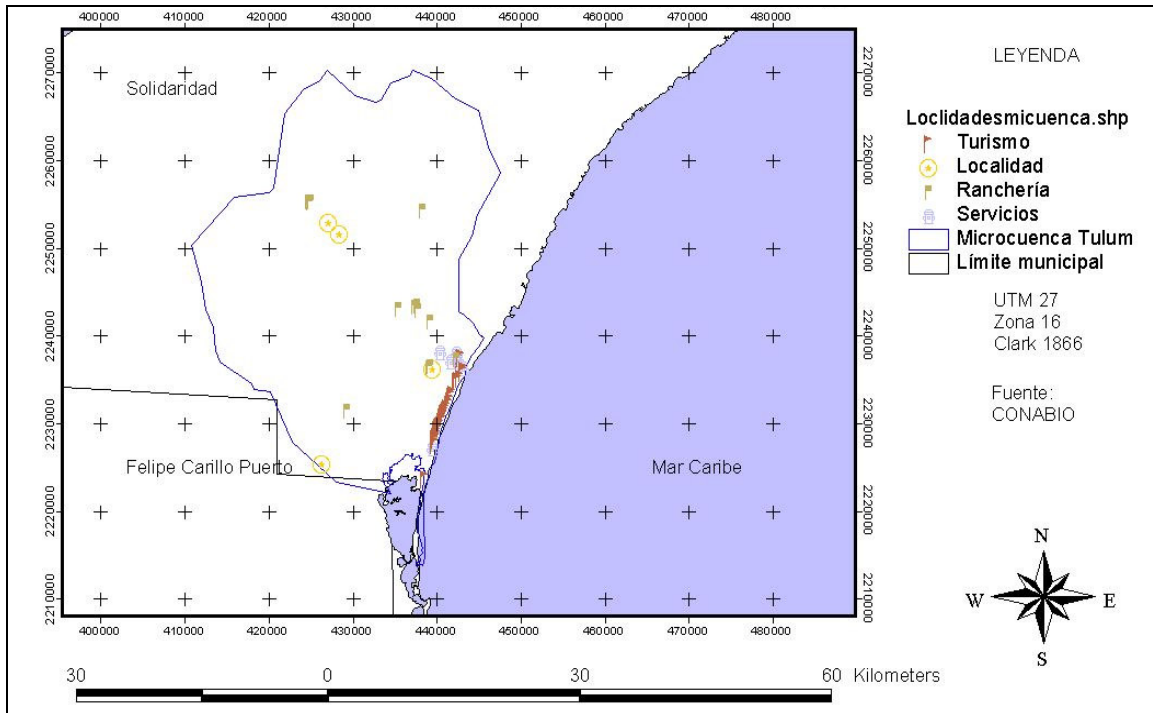


Figura 29. Localidades, rancherías y servicio turísticos en la cuenca Tulum (CONABIO, 2005)

Se presenta enseguida un comparativo del crecimiento poblacional de las localidades más importantes de la cuenca entre 1995 y el año 2006.

Tabla 11. Comparativo de crecimiento poblacional de las diferentes localidades recopilación de diferentes fuentes (INEGI, 2000; INEGI 2005; Portal Gobierno, 2006, COESPO, 2006)

Localidad	1995	2000	2003	2005	2006
Tulum	3,603	6,733	12,087	14,790	15,149
Francisco Uh May		338		352	761
Macario Gómez		245		285	572
J. Ma. Pino Suárez		94		41	

Tabla 12. Proyecciones demográficas del Consejo Estatal de Población al 2006.

Localidad	Hombres	Mujeres
Francisco Uh May	378	383
Pino Suárez	106	101
Macario Gómez	286	286
Tulum	7900	7249

En base a los datos el Consejo Estatal de Población (2006) se estimó una población total para la cuenca Tulum de 16,761 habitantes, correspondiendo al 11% de la población total del municipio de Solidaridad.

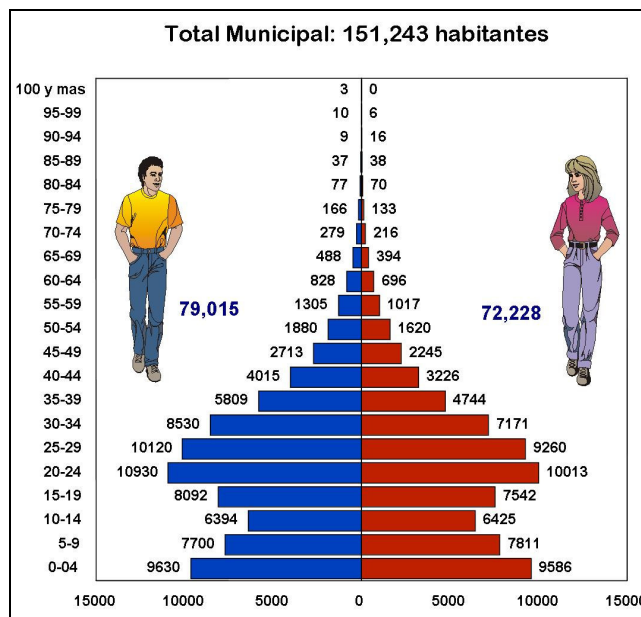


Figura 30. Pirámide de edades para el Municipio de Solidaridad (COESPO, 2006)

Tabla 13. Proyección 2006 a 2010 para el municipio de Solidaridad (COESPO, 2006)

Proyección	2006	2007	2008	2009	2010
Solidaridad	151.243	167.410	184.077	200.744	217.911

Tabla 14. Población total municipio e índices de masculinidad y feminidad (COESPO, 2006)

MUNICIPIO	EDAD MEDIANA			INDICE DE MASCULINIDAD	INDICE DE FEMINIDAD
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES		
Solidaridad	23	23	22	109,4	91,4

Un elemento importante de toda la cuenca es la lengua materna que se ha combinado en la mayor parte de los pobladores. En la tabla 16 se encuentran los datos de la población que habla alguna lengua indígena dentro de esta cuenca (SAGARPA, 2005).

Tabla 15. Población según lengua indígena en las comunidades de la cuenca Tulum (INEGI, 2005)

Localidad	Absolutos INEGI 2005				Porcentajes de la Cuenca			
	De 5 años y mas	De 5 años y mas que hablan alguna lengua indígena	De 5 años y más que habla lengua indígena y no habla español	De 5 años y mas que hablan la lengua indígena y hablan español	De 5 años y mas	De 5 años y mas que hablan lengua indígena	De 5 años y más que habla lengua indígena y no habla español	De 5 años y mas que hablan la lengua indígena y hablan español
Francisco Uh May	297	267	13	253	84.38	75.85	3.69	71.88
Macario Gómez	240	177	0	162	84.21	62.11	0.00	56.84
Tulum	9535	3000	32	2915	64.47	20.28	0.22	19.71
J. Ma. Pino Suárez	36	6	0	6	87.80	14.63	0.00	14.63

6.1.3.3 Vivienda

La mayoría de las viviendas del área urbana son unifamiliares con paredes de piedra y techo de losa o de cartón; en las áreas rurales las viviendas son de paredes de materiales perecederos como madera o bajareque con techo de huano. El ayuntamiento administra los servicios de parques y jardines, edificios públicos, unidades deportivas y recreativas, monumentos y fuentes, entre otros (Portal Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

Tabla 16. Características de los materiales de construcción en las viviendas de la cuenca Tulum (INEGI, 2000)

Localidad	Viviendas particulares habitadas	Absolutos			Porcentajes		
		de Paredes desecho	de Techos desecho	de Pisos Tierra	de Paredes desecho	de Techos desecho	de Pisos Tierra
Francisco Uh May	65	0	13	44	0.00	20.00	67.69
Macario Gómez	47	0	8	28	0.00	17.02	59.57
Tulum	1640	3	571	1473	0.18	34.82	89.82
J.M. Pino Suárez	19	0	8	14	0.00	42.11	73.68

Tabla 17. Combustibles para cocinar y servicios existentes en las viviendas de la cuenca Tulum (INEGI,2000)

Localidad	Viviendas particulares habitadas	Cocinan con gas	Cocinan con leña	Cocinan con carbón	Cocinan con petróleo	Con servicio Sanitario Exclusivo	Disponibilidad de agua entubada	Disponibilidad de drenaje	Disponibilidad de energía eléctrica	Disponibilidad de los tres anteriores	No disponen de ninguno
Francisco Uh May	65	5	59	0	0	23	54	8	60	5	0
Macario Gómez	46	1	45	0	0	14	29	4	37	3	1
Tulum	1640	1147	298	4	0	1257	1375	1287	1476	1135	35
J.M. Pino Suárez	19	3	13	0	0	8	8	2	5	0	5

En las localidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José Ma Pino Suárez el 90, 97 y 68% respectivamente de las viviendas cocinan con leña, lo cual puede representar una amenaza a las selvas aledañas. En Tulum en la mayoría de las viviendas cocinan con gas (69%).

6.1.3.4 Alimentación

Los principales platillos en los centros turísticos se componen de mariscos y pescado y de comida internacional. En la zonas rurales se mantiene la tradición de la comida maya a base de caza de monte y con gran influencia yucateca en la preparación (Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

6.1.3.5 Salud

El municipio de Solidaridad cuenta con atención proporcionada por la Secretaría de Salud (SESA) y el Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS). Se tiene además una unidad de salud móvil para dar atención a las zonas rurales, que también son parte de la zona maya. Se cuenta con nueve Centros de Salud y un Centro de Salud con hospitalización denominado de atención intermedia. Los pacientes que requieren de atención de segundo nivel son trasladados a la ciudad de Cancún. El equipamiento consta de nueve camas censables, 13 consultorios, laboratorios de análisis clínicos y radiología, entre otros equipos. El personal

médico lo forman 14 médicos generales, 21 enfermeras auxiliares, cinco enfermeras generales y personal de apoyo (Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

En la comunidad de Francisco Uh May hay un Centro de Salud y las enfermedades más comunes son resfriados y enfermedades gastrointestinales. Macario Gómez no cuenta con Centro de Salud (Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

Según comentarios de los pobladores el mal servicio de salud se debe a que los médicos no radican en las localidades, no tienen medicinas suficientes y el servicio se limita a horarios de oficina, sin haber personal que atienda ningún tipo de urgencias. Esto pone en un nivel de vulnerabilidad muy alto, debido a la lejanía de las comunidades y a la falta de servicios de transporte desde las comunidades más alejadas (Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

Tabla 18. Población derechohabiente a servicio de salud (INEGI, 2005)

Localidad	Población sin derechohabiente a servicios de salud	Población derechohabiente a servicios de salud	Población derechohabiente del IMSS	Población derechohabiente del ISSSTE	Población derechohabiente por el seguro popular
Francisco Uh May	337	13	0	4	9
Macario Gómez	274	8	0	3	5
Tulum	7240	3704	2859	319	482
José María Pino Suárez	41	0	0	0	0

6.1.3.6 Servicios Públicos

Los figuras 31, 32 y 33 de las poblaciones muestran los servicios disponibles en cada una de ellas.

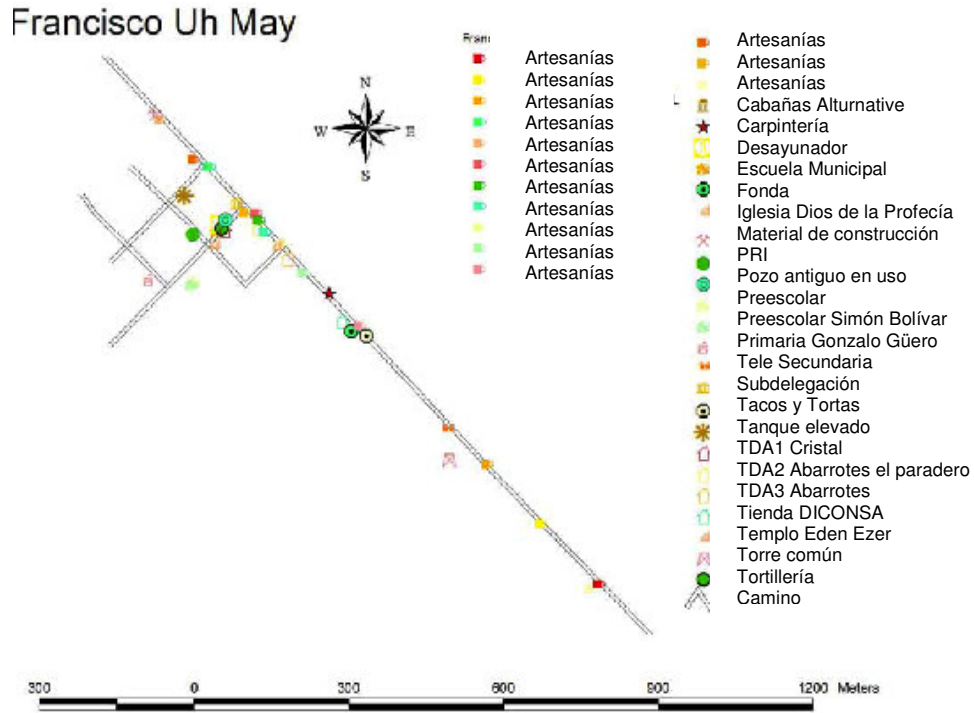


Figura 31. Croquis de la Localidad Francisco Uh May (UQROO,2005)

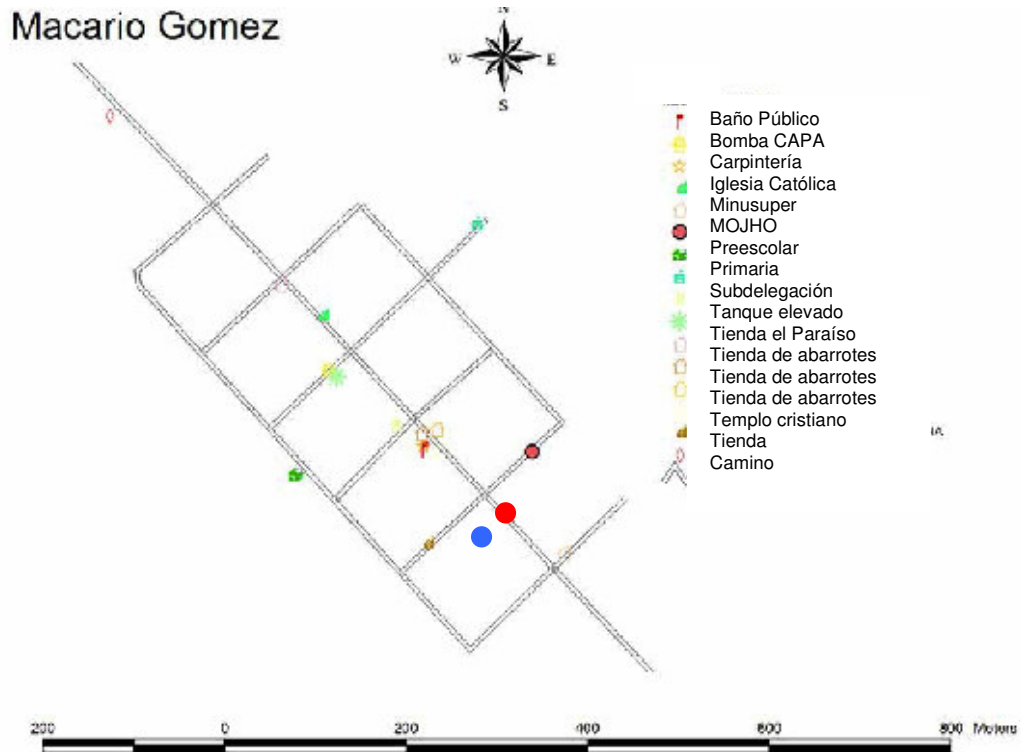


Figura 32. Croquis de la Localidad Macario Gómez (UQROO, 2005)



Figura 33. Plano de Desarrollo de Tulum (Catastro de Tulum ,2005)

6.1.3.7 Educación

El Estado de Quintana Roo ha realizado un notable esfuerzo en las últimas dos décadas para disminuir el analfabetismo y elevar el grado promedio de escolaridad en Quintana Roo. En 1980 el grado promedio de escolaridad era de 2.3; en 1990 se elevó a 6.3. Según cifras del ciclo escolar 2002-2003, el Estado de Quintana Roo ocupa el noveno lugar a nivel nacional con un grado promedio de escolaridad de 8.3 años, superior a los 7.8 de la media nacional; el analfabetismo se ha reducido a un 6.5%, también arriba de la media nacional de 8.8 y la matrícula total aumentó un 4.9%, 13 mil 315 alumnos más que en el ciclo anterior. De acuerdo a la Secretaría de Educación y Cultura estatal, el mayor crecimiento de la matrícula se dio en los municipios de Solidaridad y Benito Juárez con el 11.0 y 5.8% respectivamente (Portal Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

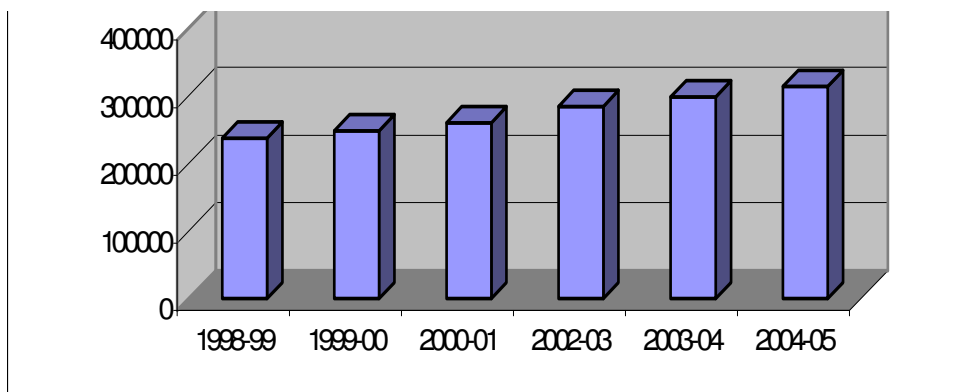


Figura 34. Matrícula Escolar de Quintana Roo (Portal Gobierno, 2006)

El crecimiento de matrícula del municipio de Solidaridad del período 2002 –2003 fue de 19,537 y en siguiente período 2003-2004 fue de 22,167 alumnos correspondiendo el 17% a preescolar, 57% a primaria, 17% a secundaria y nueve por ciento a bachillerato (Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

Tabla 19. Número de escuelas por grado escolar en Solidaridad (Portal Gobierno, 2006)

Grado Escolar	Número de Escuelas
Inicial	
Especial	2
Preescolar	39
Primaria	54
Secundaria	22
Bachillerato	10
Normal	
Superior	1
Total	128

Tabla 20. Población según condición de alfabetismo en la Cuenca (INEGI, 2005)

Localidad	Población total	De 8 a 14 años	De 15 años y más
		No sabe leer y escribir	Alfabeta
Francisco Uh May	352	0	39
Macario Gómez	285	9	59
Tulum	14790	53	535
J.M. Pino Suárez	41	2	8

Tabla 21. Población según grado de instrucción en la Cuenca (INEGI, 2000)

Localidad	Grado de instrucción												Grado escolar promedio
	De 15 años y más sin instrucción	De 15 años y más con primaria incompleta	De 15 años y más con primaria completa	De 15 años y más con instrucción posprimaria	De 15 años y más con secundaria incompleta	De 15 años y más con secundaria completa	De 15 años y más sin posprimaria	De 15 años y más con secundaria o estudios técnicos y primaria terminada	De 15 años y más con instrucción media superior o superior	De 15 años y más sin instrucción media superior	De 15 años y más con instrucción media superior	De 15 años y más con instrucción superior	
Francisco Uh May	46	56	26	35	9	16	128	25	10	130	2	8	4.20
Macario Gómez	37	44	35	16	3	8	116	11	5	104	4	0	3.63
Tulum	366	889	811	1911	237	921	2067	1163	748	2876	522	163	6.75
J.M. Pino Suárez	22	15	2	13	4	7	39	11	2	42	2	0	3.35

6.1.3.8 Recreación y Religión

Los principales deportes que se practican son el béisbol, fútbol y básquetbol. Existen canchas para estos deportes y todas las poblaciones mayores de 50 habitantes, por lo menos una cancha de usos múltiples que también se utiliza para eventos cívicos – sociales. Así también se pueden practicar diversos deportes acuáticos en el mar como el esquí, el windsurf, snorkel y el buceo autónomo, al igual que el buceo en cenotes (Portal Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

En Tulum se encuentra un Santuario Maya, en donde se realizan ceremonias tradicionales que tienen su antecedente en el culto a la Cruz Parlante de Chan Santa Cruz, hoy Felipe Carrillo Puerto, durante la Guerra de Castas. Este santuario es custodiado por habitantes de la localidad organizados en una jerarquía militar, celebrándose reuniones periódicas con otras localidades mayas de la región (Ayuntamiento de Solidaridad, 2006).

La fuerte inmigración de habitantes de todo el país y la influencia de los visitantes nacionales y extranjeros en el litoral del municipio, tiene como resultado una paulatina pérdida de la música tradicional, predominando la música caribeña e internacional. En la zona rural se ha conservado la música tradicional maya como el Mayapax y jaranas de origen yucateco (Ayuntamiento de Solidaridad, 2006).

En los centros turísticos predominan las artesanías del resto del país; en la zona rural se elaboran artesanías de madera, palma, piedra caliza, resina y bordados a mano en la elaboración de vestimentas tradicionales mayas (Ayuntamiento de Solidaridad, 2006).

La religión que predomina en el municipio es la católica (72.7%), siguiendo en importancia la protestante o evangélica (15.2%) y el 5.0% que se declaró ateo.

Existe una tendencia en desplazar a la religión católica por la protestante o evangélica (Ayuntamiento de Solidaridad, 2006).

En algunas localidades persiste una religión mezcla de los ritos católicos y prehispánicos, derivada del culto a la Cruz Parlante. En fechas especiales acuden vecinos de otras comunidades para celebrar ritos y fiestas en que participa todo el pueblo (Ayuntamiento de Solidaridad, 2006).

Tabla 22. Principales características del equipamiento cultural y deportivo en las comunidades de la cuenca (UQROO, 2005)

Comunidad	Plaza o Parque Central	Casa de la Cultura	Biblioteca	Espacios Deportivos	Religiones
Francisco Uh May	Si	Si	Si	Fútbol, básquetbol, voleibol	Católica y otras
Macario Gómez	Si	Si	No	Fútbol, básquetbol, voleibol	Católica y otras
Tulum	Si	Si	Si	Fútbol, básquetbol, voleibol	Católica y otras
J.M. Pino Suárez	No	No	No	Fútbol	Católica y otras

Tabla 23. Descripción de la población según religión (INEGI, 2000)

Localidad	Población total	De 5 años y más católica	De 5 años y más no católica	De 5 años y más no católica o sin religión
Francisco Uh May	338	63	152	196
Macario Gómez	254	83	69	111
Tulum	6733	3749	986	1658
J.M. Pino Suárez	92	31	19	36

6.1.3.9 Organización

Francisco Uh May no se mencionan organizaciones pero para Macario Gómez la UQROO a través del plan rector reporta las organizaciones Chac Hool, Sanan Ek y Otes (UQROO, 2005).

6.1.4 Caracterización Económica

6.1.4.1 Población Económicamente Activa

En Quintana Roo el 70% de la población económicamente activa se dedica a actividades terciarias, fundamentalmente en los sectores comercial, turístico, de transporte, servicios y administración pública. Casi la mitad de los quintanarroenses tiene ingresos menores a dos veces el salario mínimo de la región. En el extremo opuesto, el tres por ciento de la PEA tiene ingresos superiores a diez salarios mínimos (PDUT, 2006).

Partiendo de las funciones que desempeñan los centros turísticos del norte del Estado, como polos de desarrollo que atraen de todo el País a mexicanos en busca de empleo y mejoramiento de sus niveles de bienestar, resulta interesante que un gran número de personas manifieste en los censos y encuestas que trabaja en áreas distintas a aquellas en las que ha sido capacitado profesionalmente (PDUT, 2006).

A continuación se muestran datos sobre la distribución de la población ocupada en cada uno de los sectores económicos, según estimaciones del Consejo Estatal de Población, Quintana Roo.

Tabla 24. Población económicamente activa e inactiva para Quintana Roo (PDUT, 2006)

Características	Habitantes
Población total del Estado	1071402
Población mayor de 12 años	762,965
Población Económicamente Activa	446289
Población Económicamente Activa Ocupada	442,025
Población Económicamente Activa Desocupada	4,264
Población Económicamente Inactiva	316,676

Tabla 25. Población económicamente activa e inactiva para Solidaridad (COESPO, 2006)

	Población de 14 años y más	Población Económicamente Activa	Población Económicamente Inactiva
SOLIDARIDAD	106.332	87.420	18.912
HOMBRES	56.622	52.739	3.884
MUJERES	49.710	34.663	15.047

Si bien las actividades productivas que se realizan en el Municipio de Solidaridad comprenden a los sectores económicos primario, secundario y terciario, resulta evidente que el sector terciario de comercio y servicios ocupa a más del 70% de la población residente en el Municipio.

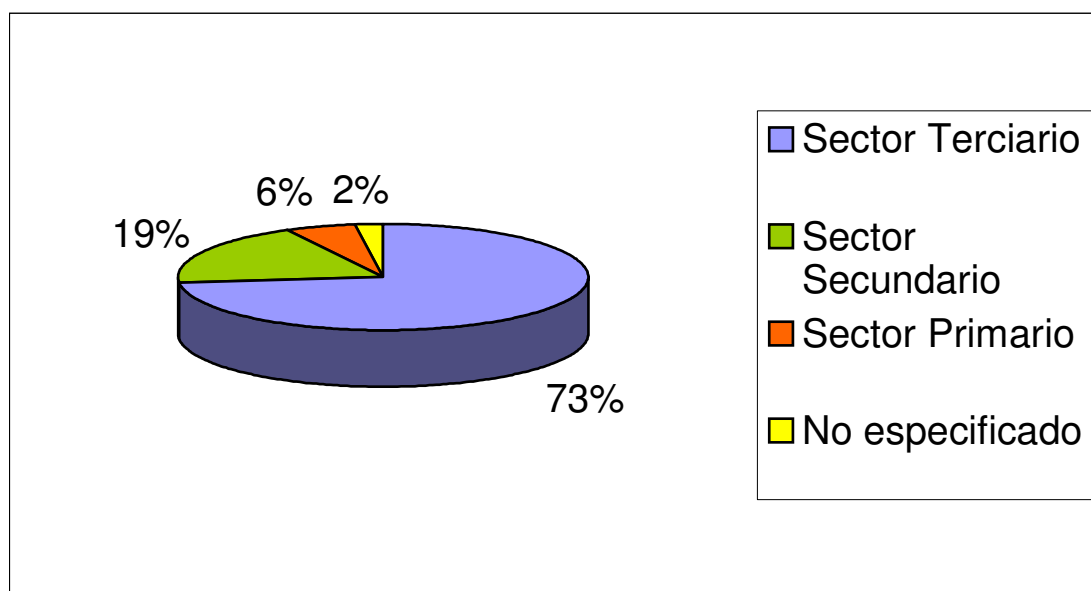


Figura 35. Ocupación de la población por sector productivo (Portal Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006)

El nivel de ingreso para el municipio de Solidaridad, que, pertenece al área geográfica “C” que comprende los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche, se refleja en el salario mínimo general para el período de 2000 que fue de \$32.70, para el 2001 de \$35.85 y para el 2002 de \$38.30 (Portal Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2006).

6.1.4.2 Tenencia de la Tierra

La tenencia de la tierra en la cuenca Tulum está constituida por terrenos de propiedad nacional, de propiedad federal, privada, de propiedad social (ejidos) y terrenos nacionales. La tabla 26 muestra las extensiones de cada una estas y en la tabla 27 se encuentra el listado de ejidos. Es importante mencionar que el ejido Tulum es el que presenta mayor presión de desarrollo y por lo tanto mayor amenaza a la conservación de los recursos hídricos de la zona, ya que se encuentra ubicado sobre uno de los sistemas de ríos subterráneos más importante de la zona Ox Bel Ha. Por conversaciones con los ejidatarios del Ejido Pino Suárez, ellos se encuentran concientes de la necesidad de cuidar los recursos y hacer un desarrollo controlado en su territorio.

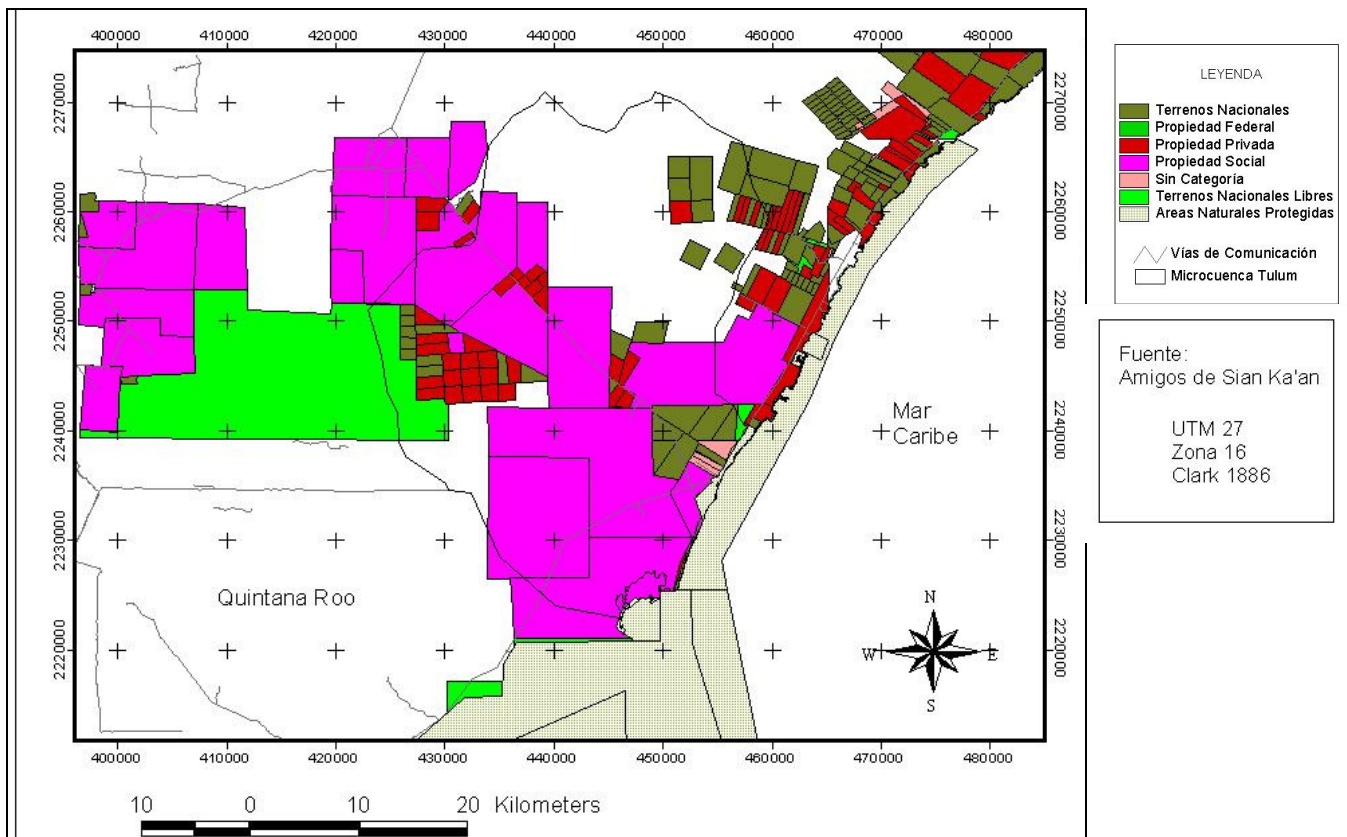


Figura 36. Tenencia de la tierra, Proyección UTM 27, Zona 16 (ASK, 2006)

Tabla 26. Tenencia e la tierra de la Cuenca

Tenencia de la Tierra	Hectáreas	Porcentaje %
Posesión terrenos nacionales	11,324.220	9.7
Propiedad Privada	7,513.17	6.4
Propiedad Social	53,521.278	46.2
Sin Categoría	666.765	0.57
Terrenos Nacionales Libres	4,103.152	3.5
No especificado	38,655.72	33.3
Extensión Cuenca	115,784.303	100

Tabla 27. Listado de ejidos en la cuenca

Ejido	Extensión Total (ha)	Extensión dentro de la cuenca (ha)
Manuel A Ay (DOT)	7,979.914	6,548.067
San Juan	6,187.693	807.447
Francisco Uh May	1,759.051	1,759.051
El Roble	268.437	268.437
Macario Gómez	6,298.582	6,298.582
Jacinto Pat	9,342.291	4,541.615
Tulum (Fund. Legal)	1,384.030	1,315.133
Tulum 1a ampliación	12,447.457	12,447.457
Tulum(Dotación)	10,273.431	9,711.858
J. M. Pino Suárez	9,684.853	5,639.979

6.1.4.3 Migración

Quintana Roo, tiene el saldo neto migratorio más alto de todo el país. El 55.4% de los habitantes de Quintana Roo no nacieron en la entidad; por ello resulta interesante profundizar en los procesos migratorios y el patrón de poblamiento del Estado. El patrón de poblamiento de Quintana Roo se ha caracterizado por una concentración-dispersión y bajas densidades poblacionales. El 85% de los poblados existentes hoy día tienen menos de 50 habitantes y en el otro extremo, el 60% de la población total vive en tres de los centros turísticos más importantes del Estado: Cancún, Playa del Carmen y Cozumel. A finales de los años sesenta, la creación de Cancún (hoy Municipio de Benito Juárez) como polo de desarrollo turístico, generó un punto de atracción, cuya dinámica económica lo colocó como la segunda ciudad más importante de la Península de Yucatán (PDUT,2006).

El desarrollo turístico de la zona norte de Quintana Roo ha constituido un poderoso imán creador de fuentes de trabajo y empleos provocando una permanente corriente migratoria procedente, en orden de importancia, de Yucatán, Veracruz, el Distrito Federal, Tabasco, Chiapas y Campeche (PDUT,2006).

El elemento que polariza la migración en Quintana Roo es la oferta de trabajo. De todas las entidades de la República provienen inmigrantes atraídos por el mercado de trabajo, en busca de nuevas condiciones de vida. Cozumel e Isla Mujeres fueron impulsados con la creación de Cancún y ahora se observa un fenómeno similar en Playa del Carmen, Municipio de Solidaridad: la acelerada construcción de cuartos hoteleros en el Corredor convertirse ambos en un destino único de 50,000 cuartos hoteleros (PDUT,2006).

Una de las características distintivas de Quintana Roo es la presencia de sucesivos mestizajes y la recepción de grupos colonizadores. Las corrientes migratorias no sólo han procedido del interior de nuestro país. Quintana Roo dio abrigo y recibió en forma cálida a los refugiados guatemaltecos que en la década de los ochenta ingresaron al país, ubicándolos en los campamentos de los Lirios (2,056 refugiados) y Maya-Balam (3,686 refugiados), al sur del Estado (PDUT, 2006). En Quintana Roo sólo el 42% nació en el Estado y más de 55% son inmigrantes.

Tabla 28. Población nacida en Solidaridad, Censo 1990 y 2000 (PDUT,2006)

Residentes en el Mpio de Solidaridad	Censo de 1990	Censo de 2000
Nacidos en Quintana Roo	45.70%	34%
Nacidos fuera de Quintana Roo	51.80%	61%
Nacidos en otro país	2.50%	5%

Tabla 29. Población nacida y residente de la cuenca Tulum (INEGI, 2000)

Localidad	Absolutos					Porcentajes			
	Población Total	Nacidas en la entidad	Nacidas en otra entidad	Nacidas en otro país	De 5 años y más residentes en la entidad en 1995	Nacidas en la entidad	Nacidas en otra entidad	Nacidas en otro país	De 5 años y más residentes en la entidad en 1995
Francisco Uh May	338	242	242	31	94	71.60	71.60	9.17	27.81
Macario Gómez	254	148	198	4	99	58.27	77.95	1.57	38.98
Tulum	6733	3351	4444	1047	3162	49.77	66.00	15.55	46.96
J.M. Pino Suárez	92	40	62	7	40	43.48	67.39	7.61	43.48

6.1.4.4 Marginación

El grado de marginación reportado por COESPO para el municipio de Solidaridad es bajo, pero el INEGI reporta para las comunidades rurales de la Cuenca (Francisco Uh May y Macario Gómez) un índice de marginación alto.

Tabla 30. Índice y grado de marginación para el Municipio de Solidaridad (COESPO, 2006)

Municipio	Índice de Marginación	Grado de Marginación
Solidaridad	-0.95271	Bajo

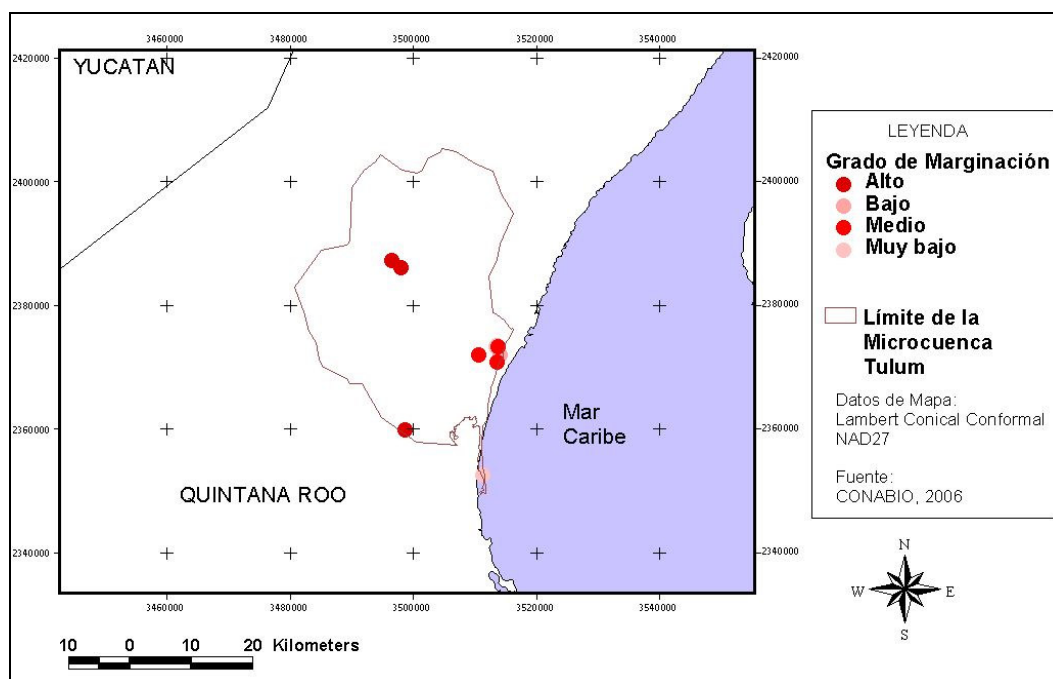


Figura 37. Grado de marginación de cada comunidad en la cuenca

6.1.4.5 Financiamiento

En lo que respecta a las fuentes de financiamiento para las actividades productivas en las comunidades de la Cuenca, destaca que al no ser sujetos de crédito, los pobladores solamente pueden acceder a los programas de apoyo que el Gobierno en sus tres niveles ofrece. En estos apoyos destaca la actividad que representa la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) en los recursos otorgados a todas las comunidades en beneficios de un buen número de pobladores y siendo prácticamente la única que distribuyó apoyos en todas las comunidades de la cuenca (UQROO, 2005).

Para Francisco Uh May existe el proyecto “Taller Hurdido de Hamacas”, siendo el componente principal del proyecto artesanal, participan 13 mujeres con inversión de la CDI de \$100. EN la comunidad de Macario Gómez existen dos proyectos “Taller de Carpintería” y “establecimiento de granjas porcícolas, la primera con componente de servicios y las segunda pecuario, se encuentran involucradas 10 y 13 mujeres respectivamente y contaron con apoyo del CDI con una inversión de \$75 para el taller de carpintería y \$100 para las granjas porcícolas (UQROO, 2005).

6.1.4.6 Destino de la Producción

La producción que se logra obtener por los pobladores de la cuenca tiene como principal destino el autoconsumo. Dada la baja productividad de los suelos, la poca tecnología implementada y los bajos recursos financieros para invertir los pobladores apenas alcanzan a mantener lo que van a consumir. Estos sistemas de producción de autoconsumo permiten una mezcla de recursos para la subsistencia. Por un lado, aseguran la manutención familiar con productos de la milpa como calabaza, maíz y frijol; por otro lado, una vez establecido el cultivo, pueden salir a buscar trabajo en otros lugares fuera de la comunidad.

Los empleos fuera y la venta de algún producto de interés para la industria de la construcción (palizada, troncos, piedra labrada, etc) también pueden representar parte de sus ingresos (UQROO, 2005).

Tabla 31. Uso actual del suelo para Macario Gómez y Francisco Uh May (registro Agrario Nacional en UQROO, 2005)

Localidad	Superficie del plano interno	Superficie total parcelada	Superficie total asentamiento humano	Superficie total de uso común	Número de Derechosos
Francisco Uh May	7,678.85	0	169.28	7,509.58	50
Macario Gómez	6,002.98	85.53	77.21	5,840.25	52

6.1.4.7 Sistemas Productivos

Según resultados del censo económico del INEGI 2003, la principales unidades económicas son comercio al por menor para el municipio de Solidaridad, con 2756 personas ocupadas en esta actividad.

Tabla 32. Actividades económicas de Solidaridad, censo económico INEGI 2003

SECTOR	UNIDADES ECONOMICAS	PERSONAL OCUPADO TOTAL	TOTAL DE REMUNERACIONES (Miles de pesos)	PRODUCCION BRUTA TOTAL (Miles de pesos)	INVERSION TOTAL (Miles de pesos)	PERSONAL OCUPADO TOTAL, HOMBRES	PERSONAL OCUPADO TOTAL, MUJERES	PERSONAL OPERATIVO	PERSONAL OPERATIVO, HOMBRES	PERSONAL OPERATIVO, MUJERES	TOTAL DE SALARIOS Y SUELDOS (Miles de pesos)
Pesca y acuicultura animal	18	150	954	15545	121	148	2	34	34	0	874
Minería	*	70	2584	30897	1063	66	4	58	57	1	2106
Electricidad, agua, suministro gas por ductos a consumidor final	*	125	6592	88976	76644	105	20	85	84	1	3427
Construcción	*	195	5516	44103	549	178	17	104	102	2	4448
Comercio al por mayor	69	965	83408	372457	-4313	842	123	642	585	57	63521
Comercio al por menor	1485	5066	96195	907284	112805	2756	2310	2241	1182	1059	84252
Información de medios masivos	*	78	5509	35849	17679	55	23	33	27	6	5185
Servicios financieros y de seguros	28	86	2791	22294	301	37	49	57	19	38	2564
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	122	1774	110663	477132	68886	1241	533	1108	806	302	85939

SECTOR	UNIDADES ECONOMICAS	PERSONAL OCUPADO TOTAL	TOTAL DE REMUNERACIONES (Miles de pesos)	PRODUCCION BRUTA TOTAL (Miles de pesos)	INVERSION TOTAL (Miles de pesos)	PERSONAL OCUPADO TOTAL, HOMBRES	PERSONAL OCUPADO TOTAL, MUJERES	PERSONAL OPERATIVO	PERSONAL OPERATIVO, HOMBRES	PERSONAL OPERATIVO, MUJERES	TOTAL DE SALARIOS Y SUELDOS (Miles de pesos)
Servicios profesionales científicos y técnicos	62	248	11323	42003	462	172	76	121	79	42	10182
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	156	6616	424283	1303080	13672	4403	2213	5094	3362	1732	351899
Servicios educativos	27	372	17173	42957	2777	105	267	261	59	202	15837
Servicios de salud y de asistencia social	44	153	4472	19699	812	76	77	79	29	50	4256
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos recreativos	33	1177	18209	614883	10219	805	372	224	172	52	14774
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	523	10239	369852	3280269	225437	7100	3139	6416	4583	1833	254920
Otros servicios excepto servicios del Gobierno	327	814	14999	116553	3973	553	261	319	225	94	13502

6.1.4.7.1 Agrícola

La actividad agrícola presente en las comunidades de Francisco Uh May y Macario Gómez es de autoconsumo, de temporal y son métodos tradicionales.

Tabla 33. Actividad agrícola en la cuenca (UQROO, 2005)

Localidad	Tipo de producción	Población ocupada	Tipo	Productos	Tecnología existente	Situación actual
Francisco Uh May	Agrícola	35 personas	Temporal	Maíz	Tradicional	autoconsumo
Macario Gómez	Agrícola	20 personas	Temporal	Maíz, frijól y calabaza	Tradicional	Para autoconsumo

6.1.4.7.2 Pecuario

En la localidad de Francisco Uh May hay 21 personas que se dedican a la ganadería de tipo extensivo pero no es una actividad muy desarrollada en la cuenca (UQROO, 2005).

Tabla 34. Actividad pecuaria en la cuenca (UQROO, 2005)

Localidad	Tipo de producción	Población ocupada	Tipo	Productos	Tecnología existente	Situación actual
Francisco Uh May	Pecuaria	21 personas	Extensiva	Bovino	Mixta	Se afectaron los cercos perimetrales y caminos después del huracán

6.1.4.7.3 Apícola

La actividad apícola se realiza en las comunidades de Francisco Uh May y Macario Gómez, pero se realiza de forma tradicional y está a punto de desaparecer (UQROO, 2005).

Tabla 35. Actividad apícola en la cuenca (UQROO, 2005)

Localidad	Tipo de producción	Población ocupada	Tipo	Productos	Tecnología existente	Situación actual
Francisco Uh May	Apícola	25 personas	Tradicional	Miel	ninguna	Tienen problemas para alimentar a las abejas por escasez de recursos y floración
Macario Gómez	Apícola	10 personas	Tradicional	Miel	Ninguna	Está a punto de desaparecer por que no hay suficiente alimento para las abejas

6.1.4.7.4 Turismo

Las actividades terciarias sustituyeron, a partir de 1975, las actividades primarias del sector agropecuario, silvícola y pesquero, como principal actividad económica. Indiscutiblemente, la actividad económica preponderante del Estado es el turismo y los servicios que lo rodean han registrado un crecimiento sostenido a lo largo de los últimos años (UQROO, 2005).

La infraestructura turística para la Riviera Maya es de 347 hoteles 22,946

cuartos con una afluencia turística de 2,000,000 de turistas al año en el 2003, 1,750,000 en el 2002 y 1,500,000 en el 2001 y 1,250,000 en el 2000 (UQROO, 2005). Tulum tiene 53 establecimientos hoteleros con 1,235 cuartos.

Tabla 36. Indicadores turísticos para la Riviera Maya (UQROO, 2005)

INDICADORES TURISTICOS	Agosto	Agosto
	2003	2004
Afluencia de turistas	1384703	1667912
Nacional	15.65%	12.94%
Extranjeros	84.35%	87.06%
Hoteles	349	348
Cuartos de Hotel	22624	22946
Ocupación Hotelera	78%	87%
Derrama Económica	885.61	1062.8

Tabla 37. Establecimientos hoteleros en el centro de población Tulum (UQROO, 2005)

Hotel	Cuartos	Hotel	Cuartos
Acuario	32	Freedom Paradise	112
Aktun Tulum	8	Hotel Cabañas Esmeralda K	14
Amansala	8	Hotel Maya	34
Ana y José Charming hotel & SPA	21	Kin Ha Playa	4
Azulik	15	Kin Ha suite	12
Cabañas Almost	13	La Luna Gitana	18
Cabañas Andrea´s Tulum	10	La Perla	8
Cabañas Copal	47	La posada del sol	4
Cabañas Diamante K	32	La vita e bella	12
Cabañas Don Armando	40	Las Ranitas	15
Cabañas el Mirador	30	L´Hotelito	10
Cabañas Hemingway	10	Maya Tulum	42
Cabañas la Ballerna Jr	8	Nueva Vida Ramiro	8
Cabañas la Conchita	8	Papaya Playa Villas & Beach Paradise	28
Cabañas la Zebra	10	Paraíso	14
Cabañas Los Arrecifes	24	Piedra Escondida	8
Cabañas Los Lirios	28	Posada Addy	17
Cabañas Mar Caribe	26	Posada Margherita	8
Cabañas Playa Condesa y Dzibantuun	24	Retiro Maya	15
Cabañas Playa Mambo	4	Riviera Tulum	13
Cabañas Punta Piedra	8	Sunscape Tulum	238
Cabañas Santa Fe Camping	42	Tita Tulum Hotel Ecológico	8
Cabañas Tropical Padus	11	Villas Tulum	18
Cabañas Tulum	32	Zahra	22
Chilam Balam	22	Zamas	15
Dos Ceibas	8	Zamna (CASA)	1
El Crucero	16	TOTAL DE CUARTOS	1,235

Durante el 2005, la Riviera Maya tuvo 2,194,765 visitantes, de acuerdo a la Secretaria de Turismo del Estado (COESPO,2006). La afluencia de turismo se aumenta cada año de menos desde 500,000 turistas en 1996 a 2,000,000 en el 2003.

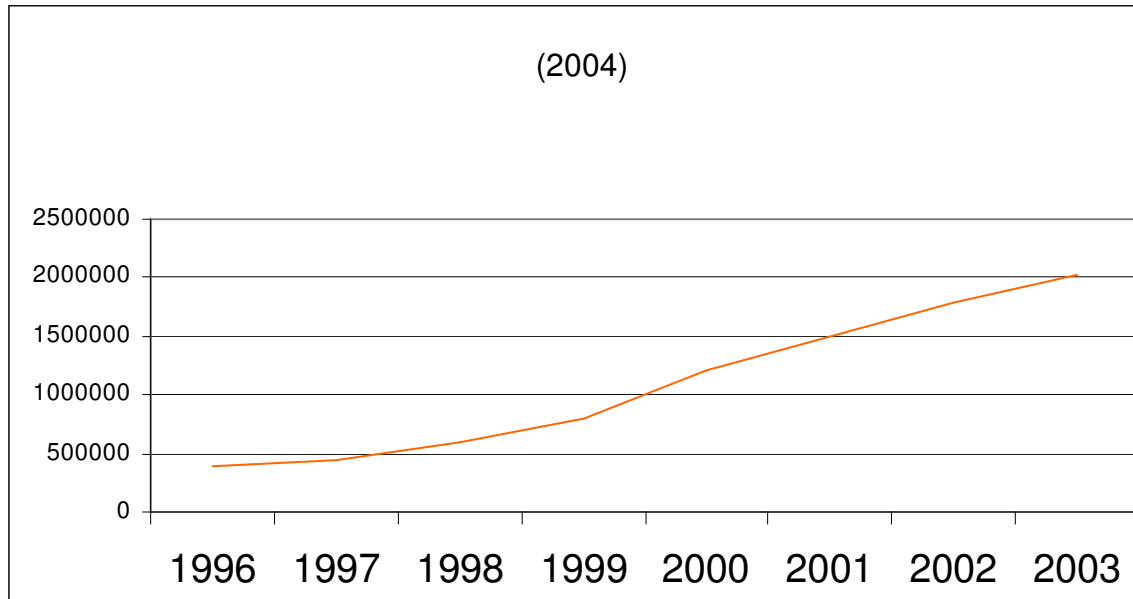


Figura 38. Afluencia Turística en el Municipio de Solidaridad (COESPO, 2006)

Tabla 38. Actividades de ecoturismo en comunidades (UQROO, 2005)

Localidad	Tipo de producción	Población ocupada	Tipo	Productos	Tecnología existente	Situación actual
Francisco Uh May	Ecoturismo	30 personas	Venta de artesanías	Diversos traídos de otros lugares, poco se produce en la localidad	No específica	Las ventas dependen de la afluencia turística, actualmente es baja
Macario Gómez	Ecoturismo	24 personas	Fabricantes de artesanías	Artesanías de madera	Maquinaria asociada a la actividad	Están organizados en 3 grupos sin embargo esta actividad está a punto de desaparecer

6.2 Estudio Hidrológico

6.2.1 Determinación del Uso Actual del Recurso

El abastecimiento de agua en la cuenca es principalmente a través del servicio que brinda la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) para las comunidades y las rancherías, la franja hotelera ubicada en la costa, se abastece a través de pipas y en algunas ocasiones extrayendo agua de pozos y cenotes cercanos.

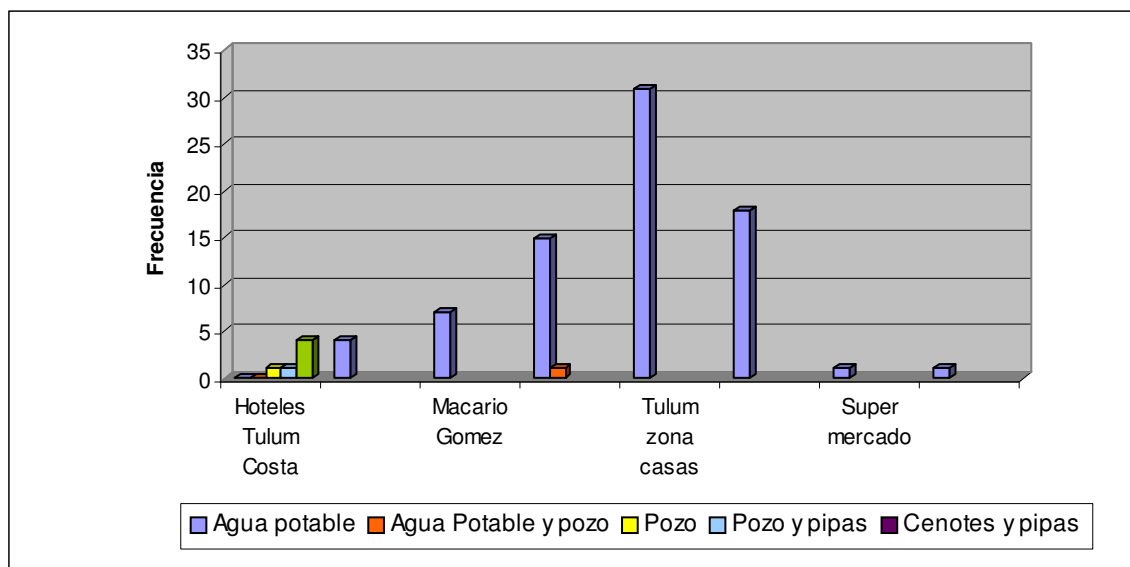


Figura 39. Abastecimiento de agua en las comunidades



Figura 40. Pipas para distribución de agua potable en Tulum

En la cuenca el agua se utiliza principalmente para cubrir las necesidades domésticas (o uso popular como lo denomina CAPA) siendo el 82.20%. El resto es de uso comercial, hotelero y servicios en general que incluye el agua utilizada por las dependencias de gobierno y el municipio. No existe ninguna concesión de pozos para riego en la zona. Es necesario mencionar que en entrevistas hechas en las comunidades solamente en Tulum se cuenta con medidores de agua, por lo que en las comunidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José María Pino Suárez el 59% de los entrevistados comentaron pagar entre uno a 50 pesos mensuales. El costo por pipa de agua potable es de 200 a 250 pesos.

En las localidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José Ma. Pino Suárez, la mayoría de las familias cuentan con la conexión del agua potable a una manguera (Figura 41) y de ahí obtienen y distribuyen el agua para las labores domésticas. No cuentan con tuberías para la distribución de agua potable en el hogar.



Figura 41. Uso del agua en una familia de la comunidad Macario Gómez

En una zona de patio se realiza el lavado de trastos y ropa, se hace en el exterior de su vivienda, utilizando botes de plástico y tirando las aguas grises al suelo.

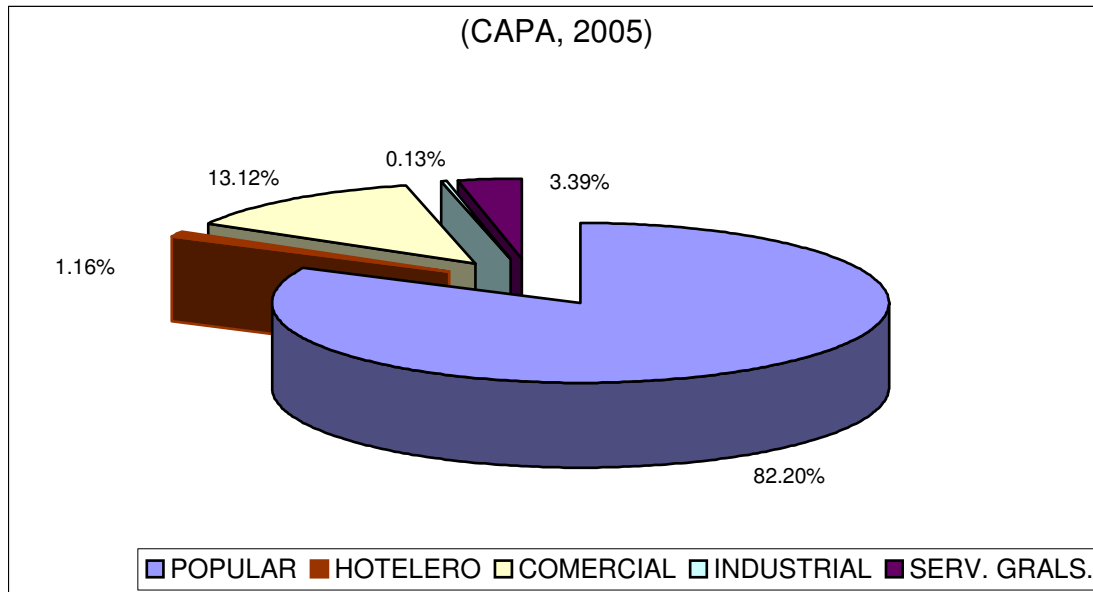


Figura 42. Usuarios del agua en la Cuenca

Los pozos que abastecen a la población de la cuenca se encuentran distribuidos a lo largo de las comunidades, teniendo para Tulum seis pozos ubicados a siete km de la ciudad sobre la carretera Tulum-Coba. Las localidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José Maria Pino Suárez cuentan con un pozo cada una.

El servicio de agua potable para estas comunidades, como lo mencionaron los habitantes, es intermitente y muchas veces está sujeto a que la persona encargada de la bomba la prenda en los horarios establecidos, a la disponibilidad de diesel para la bomba y al buen funcionamiento de esta. Como se mencionó anteriormente este servicio se interrumpe en evento de huracán.

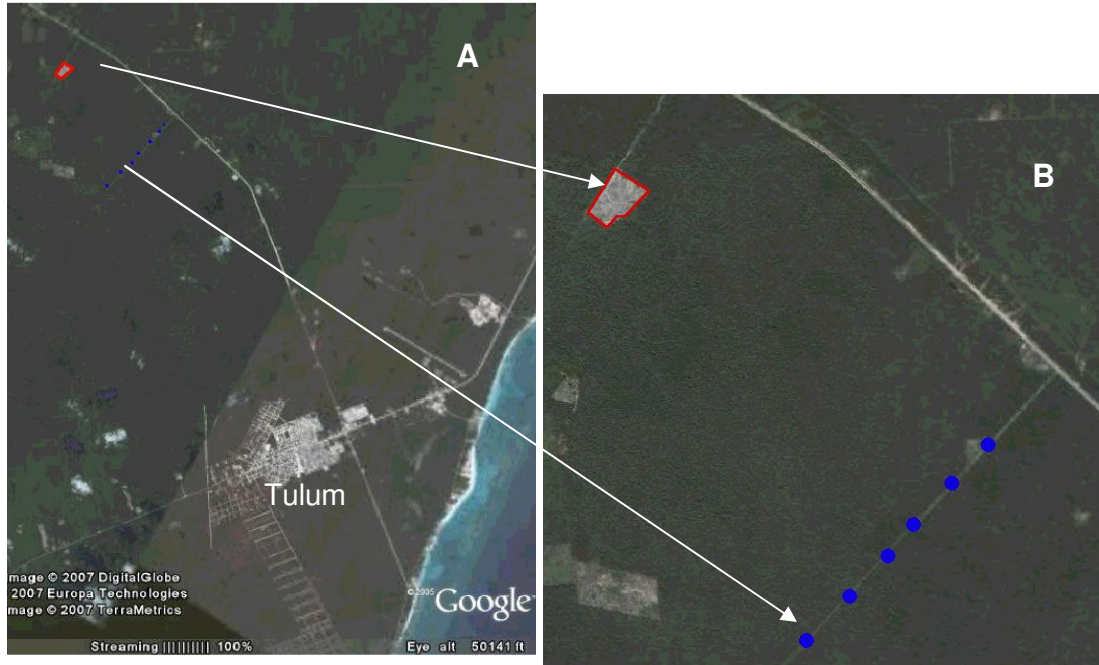


Figura 43. Ubicación de los pozos de extracción

A) vista de Tulum y su cercanía con el tiradero (Rojo) y los pozos de extracción de agua (Azul) de CAPA. B) Acercamiento de la zona de pozos y el tiradero (Google Herat, 2006)

Los volúmenes de agua facturados por CAPA por sector (Figura 45) muestran que el consumo de agua varía a lo largo del año para el sector popular o doméstico entre los 40,000 y 50,000 m³ mensuales y muestra un ligero incremento en el mes de junio. De igual forma este incremento se observa en la figura 46, la cual muestra los volúmenes de agua facturados por sección para la comunidad de Tulum. El sector IV corresponde a la colonia MAYAPAX siendo el sector que consume mas agua (entre 12,000 y 15,000 m³ por mes). El sector con menor consumo de agua es el sector V correspondiente a las Villas Tulum.

Tabla 39. Sectores de distribución de agua potable en Tulum (CAPA, 2005)

Sector	Colonia
I	La CROC y Lakin
II	Maya
III	Centro y La Luna
IV	Mayapax
V	Villas Tulum
VI	Ruinas

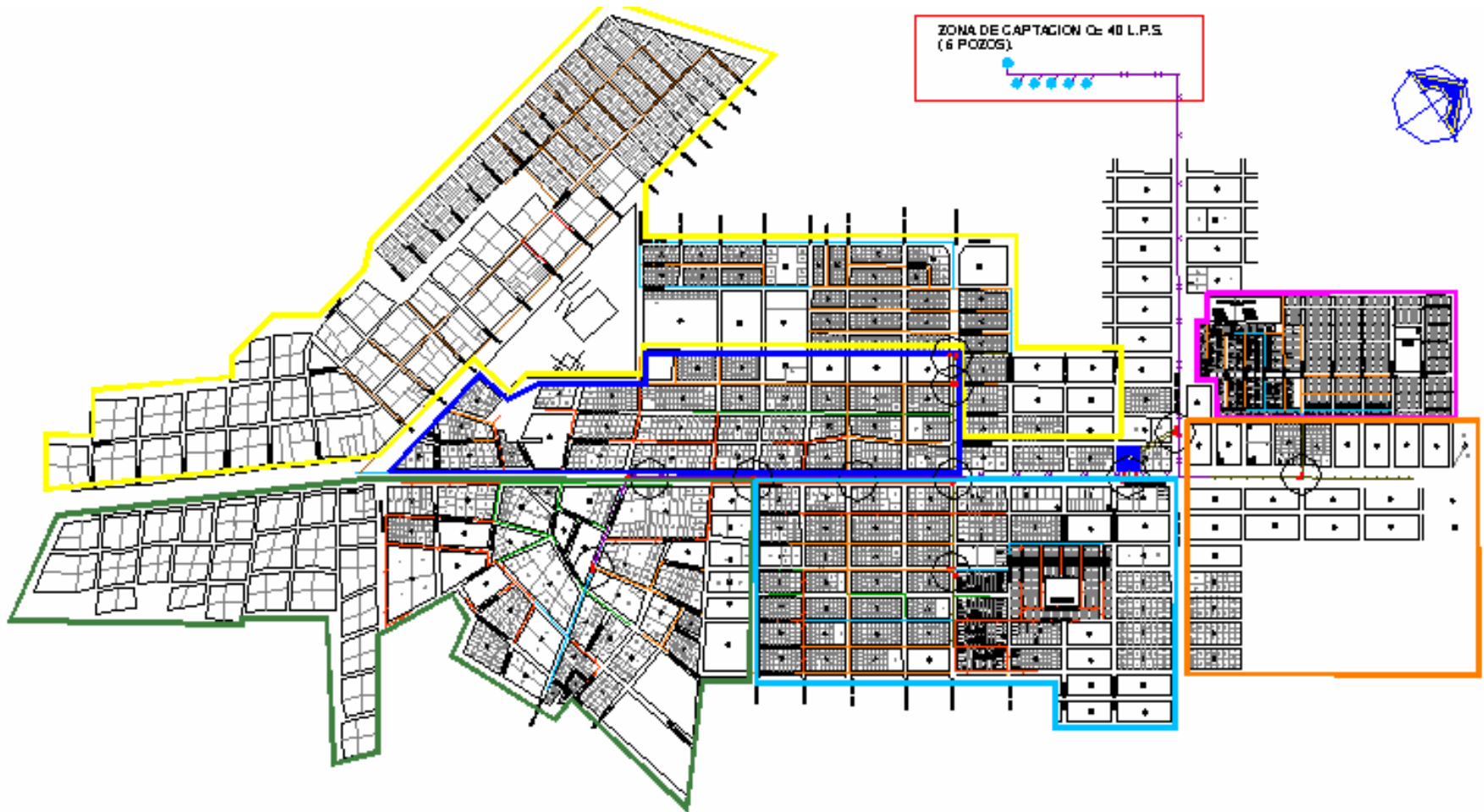








Figura 44. Plano de distribución de agua potable para Tulum (CAPA, 2006)

- | | | |
|---|---|---|
|  SECTOR I |  SECTOR III |  SECTOR V |
|  SECTOR II |  SECTOR IV |  SECTOR VI |

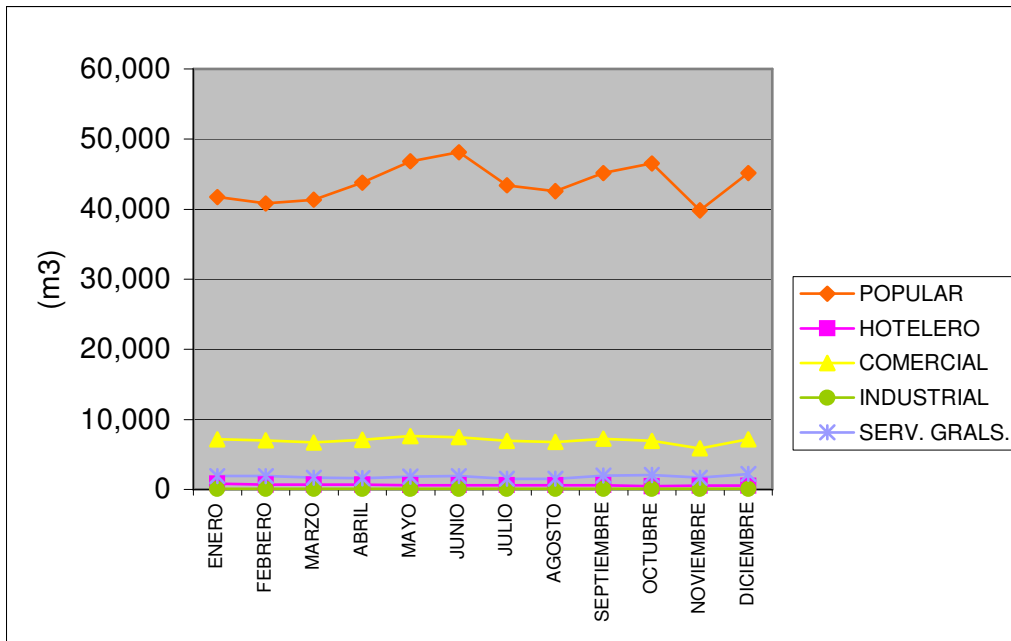


Figura 45. Volúmenes Facturados de agua por sector (CAPA, 2005)

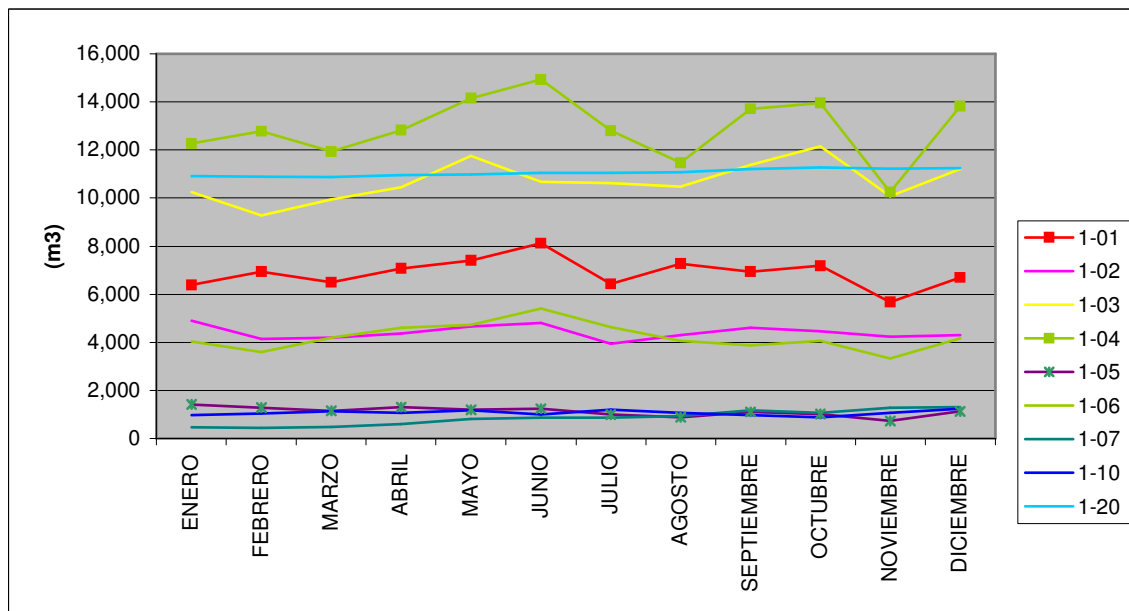


Figura 46. Volúmenes Facturados de agua por sector en la localidad Tulum (CAPA, 2005)

La figura 47 muestra los volúmenes de extracción de agua por pozo, extrayendo un total de 1,167,050.4 m³ para el abastecimiento de Tulum en el 2005.

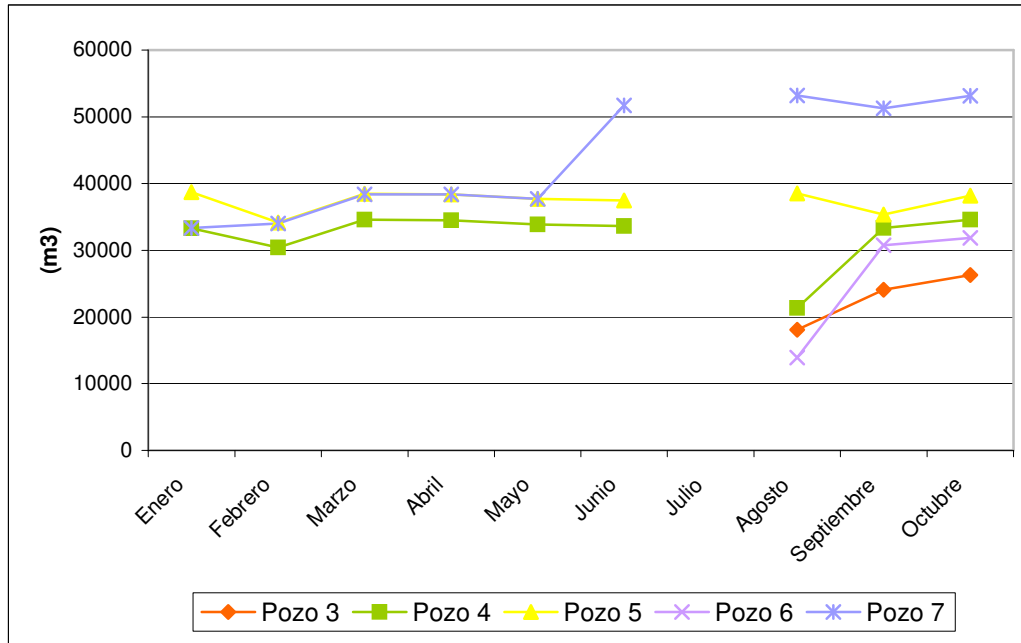


Figura 47. Volúmenes de extracción de agua por pozo en Tulum (CAPA, 2005)¹
¹Los datos del mes de julio que la CAPA entregó se eliminaron por que son volúmenes muy pequeños y evidentemente no se registraron correctamente

La extracción de agua para las comunidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José María Pino Suárez fue de 95,404 m³ en total para el 2005. En total el agua extraída de los pozos para el 2005 fue de 1,262,454.4 m³. Los volúmenes totales extraídos por comunidad se muestran en la tabla 40.

Tabla 40. Volúmenes de agua extraídos por comunidad (CAPA, 2005)

Pozos de las Comunidades	Volumen total de agua extraído 2005 (m ³)
Tulum	1,167,050.4
Francisco Uh May	42,623
Macario Gómez	41,765
José María Pino Suárez	11,016
TOTAL	1,262,454.4

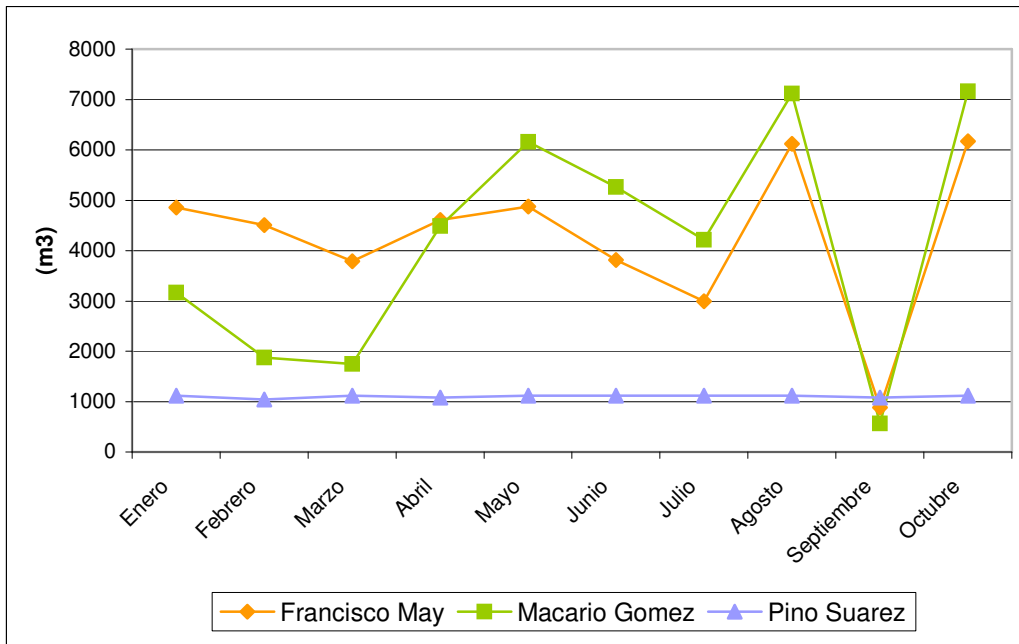


Figura 48. Volumen de extracción de agua por pozo para las comunidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y Pino Suárez (CAPA, 2005)

A continuación se describen los resultados de las encuestas realizadas sobre el uso del agua en la cuenca. En cuanto al almacenamiento de agua, el 64% utiliza tinacos Rotoplas de 450 litros, principalmente en la comunidad de Tulum. El 33% restante almacena agua en botes de plástico o no almacena agua, principalmente en las comunidades de Pino Suárez y Macario Gómez. Los habitantes mencionaron que lo anterior representa un problema importante ya que estas comunidades sufren escasez de agua por el suministro intermitente. De igual forma cuando son afectadas por huracanes la población queda sin agua debido a que no cuentan con tinacos para su almacenamiento. El 85% de los encuestados cuentan con un solo tinaco, seis por ciento de dos a cuatro tinacos y el ocho por ciento cuenta de seis a ocho tinacos. Solamente el supermercado San Francisco y algunos hoteles de la zona costera cuentan con cisterna para almacenar agua.

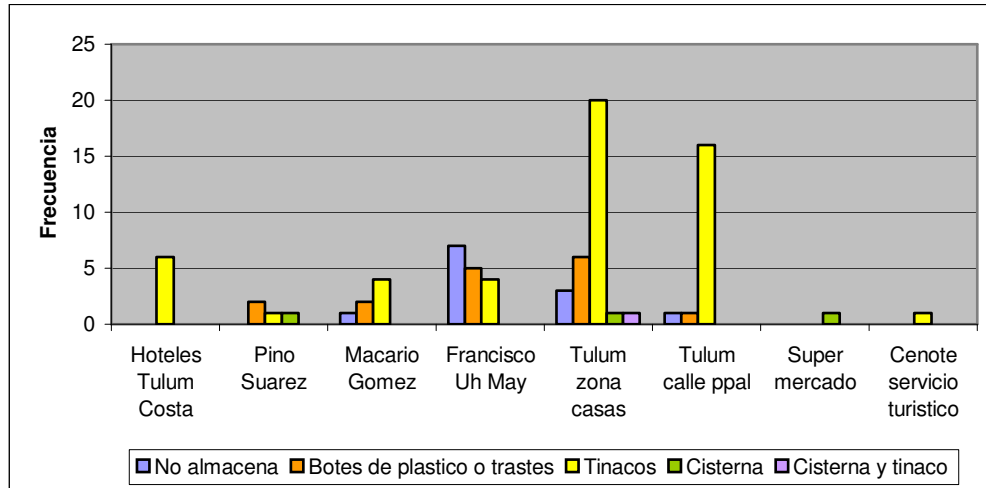


Figura 49. Almacenamiento de agua en las comunidades

Se observaron algunos casos de captación de agua de lluvia, pero esto se hace de forma muy rustica, y la captación es mínima como lo muestra la figura 50 ya que los botes para el almacenamiento son pequeños y no son los adecuados ya que no están cerrados y el agua captada se evapora o se contamina.



Figura 50. Ejemplo de captación de agua de lluvia que se realiza actualmente (A) y ejemplo de desperdicio de recurso potencial para su captación(B)

En la cuenca la población (98% de los encuestados) generalmente utiliza agua de garrafón para beber, el dos por ciento restante en la población de Francisco Uh May utiliza agua potable desinfectada con gotas para beber.

En cuanto al uso del agua en la cuenca es para limpieza del hogar, de comercios, hoteles y restaurantes, aseo persona y servicio de los sanitarios principalmente. Algunos hoteles utilizan el agua para llenar pequeños chapoteaderos. Los hogares que tienen animales de traspatio, principalmente gallinas, utilizan el agua para darles de beber a estas.

Una práctica común en esta zona es el uso de fosas sépticas (74% de los encuestados). Pero el 59% reportó no dar mantenimiento a estas. El 20% no cuentan con baños ni letrinas y defecan al aire libre, en las comunidades de Francisco Uh Ma, Pino Suárez y Tulum. El supermercado San Francisco cuenta con un sistema con trampa de grasas, filtro de arena, y pozo de absorción. Se encontró que, la falta de drenaje en la zona es un problema prioritario por resolver, al encontrar que las lavanderías de Tulum no cuentan con ningún tratamiento para sus aguas residuales. El cenote que da servicio turístico Carwash cuenta con baños secos.

Tabla 41. Viviendas con agua potable, drenaje y sanitarios en la cuenca (INEGI, 2005)

Localidad	Total de viviendas habitadas INEI 2005	Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada de la red pública	Viviendas particulares que disponen de excusado o sanitario INEGI 2005	Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje
Francisco Uh May	68	68	42	49
Macario Gómez	61	52	46	33
Tulum	3768	2570	2593	2640
José Ma. Pino Suárez	10	5	8	8

Los datos de la tabla 41 son resultado del conteo INEGI 2005 y se debe tomar en consideración los siguientes puntos:

- a) Se considera que tiene agua potable a las viviendas particulares habitadas que tienen agua entubada de la red pública, es decir, dentro de la vivienda o fuera de la vivienda pero dentro del terreno.
- b) El INEGI considera que cuentan con drenaje a las viviendas particulares habitadas que tienen drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, lago o mar.

Por lo que no se puede considerar que estos datos reflejen la existencia de un drenaje conectado a una red pública y que reciba un tratamiento.

Ya que los residuos sólidos son una fuente de contaminación importante en la zona se incluyó esta información en la encuesta, encontrando que 86% utiliza el servicio de recolección municipal de residuos sólidos (ver tabla 42). El ocho por ciento quema los residuos, en particular en las comunidades de José María Pino Suárez y Francisco Uh May, debido a que, como comentaron los habitantes “a veces no pasa el camión”. El 3% tira los residuos sólidos en la selva o a las orillas de la carretera (ver figura 51). Encontramos habitantes en la comunidad de Tulum y en los hoteles de la zona costera que separan los residuos y hacen composta. Se les preguntó a los habitantes de las comunidades si estarían interesados en participar en un programa de separación de residuos sólidos y el 60% contestaron que si, el 40% restante no estaban muy interesados principalmente por que saben que cuando el municipio la recoge la vuelve a mezclar y no sirve de nada su esfuerzo.



Figura 51. Tiraderos de basura a la orilla de la carretera Tulum Cobá

La Subdirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, cuenta con cuatro camiones para dar el servicio de recolección de residuos sólidos, diariamente recogen los residuos de dos sectores lo que equivale de 45 a 50 toneladas por día, las cuales tienen como disposición final el relleno sanitario de Playa del Carmen. Anteriormente se depositaban en el tiradero de Tulum, que ya se encuentra clausurado, este se encuentra a ocho km sobre la carretera Tulum Coba (ver figura 43) y tiene un volumen de 38,560 m³. Actualmente este tiradero aunque ya está clausurado recibe chatarra. Es importante señalar que este tiradero se encuentra muy cercano a la zona de pozos de extracción de agua potable de Tulum. Debido a las características del sistema de ríos subterráneos esta es una grave amenaza a la calidad del agua que se utiliza para uso potable así como para asegurar la calidad del agua necesaria para el bienestar de los ecosistemas que de esta dependen.

Tabla 42. Programa de recolección de basura, Subdirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (H. Ayuntamiento de Solidaridad, 2006)

Localidad	Sector	Colonias	Días de recolección
Tulum	04 y 01	Los Huracanes	Martes, Jueves y Sábados
		La CROC	
		Lakin	
		Centro Sur	
		Maya Tulum	
	02 7 03	Villas Tulum	Lunes, miércoles y viernes
		Coca Cola	
		San Francisco Supermercado	
		Centro norte	
		Maya Pax	
		La Luna	
		Ejido Norte	
	Zona principal	Avenida Tulum Plaza Comercial Zona Arqueológica Parques Escuelas Mercado municipal Zona Costera	Todos los días
Macario Gómez	En toda la localidad	Martes y Sábados	
Francisco Uh May	En toda la localidad		
José Ma. Pino Suárez	En toda la localidad		

6.2.2 El Balance Hidrológico

6.2.2.1 Precipitación

La precipitación es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico y corresponde a las entradas en la ecuación del balance hídrico. El vapor de agua contenida en la masa de aire, a consecuencia de los cambios de presión y temperatura y del movimiento de esa masa, ayudado en ocasiones por minúsculo núcleos de condensación y material sólido en suspensión, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo y cae venciendo las resistencias que se le oponen, hasta llegar a la superficie terrestre. La precipitación se produce cuando el aire se eleva y se enfría adiabáticamente por debajo del punto de rocío con tal rapidez que no solo se forman nubes sino que también se produce lluvia, nieve o granizo. Al tomar en cuenta los mecanismos que hacen alcanzar alturas a las masas de aire se los tipos de precipitación que se presentan en la zona son la convectiva y la frontal o ciclónica.

La precipitación convectiva procede de una célula de convección y se origina por el calentamiento de las masas de aire próximas a la superficie de un suelo que ha recibido una fuerte insolación. Esas masas se dilatan y empiezan a ascender, enfriándose adiabáticamente durante su ascenso, hasta alcanzar su punto de condensación. Suelen ser tormentas locales de corta duración pero de gran intensidad propias de una estación cálida.

La precipitación frontal o ciclónicas, tienen su origen en las superficies de contacto de masas de aire con temperatura y humedad diferentes (frentes). Pueden ser de frente cálido o frío (cuando el que llega es el aire frío) o bien estar originadas por oclusión de un frente. En la zona donde dichas masas se ponen en contacto se generan grandes remolinos y las masas mas ligeras de mayor temperatura y humedad son empujadas hacia arriba produciéndose un enfriamiento adiabático y una condensación. Las precipitaciones producidas son

importantes y prolongadas (Díaz *et al.*, 2006).

El rango de precipitación estimado para la cuenca va desde los 1006.783 hasta los 1322.21 mm/año aumentando hacia la costa, con una media anual de 1166.83 mm/año, una precipitación máxima de 1247.36 mm/año y la precipitación mínima de 1097.67 mm/año.

Se estima un volumen anual de 1,351,199.28 m³/año, como entrada, que en su mayor parte se precipitan en los meses de mayo a octubre. No existen ríos superficiales en la cuenca que adicionalmente ingresen agua a la cuenca.

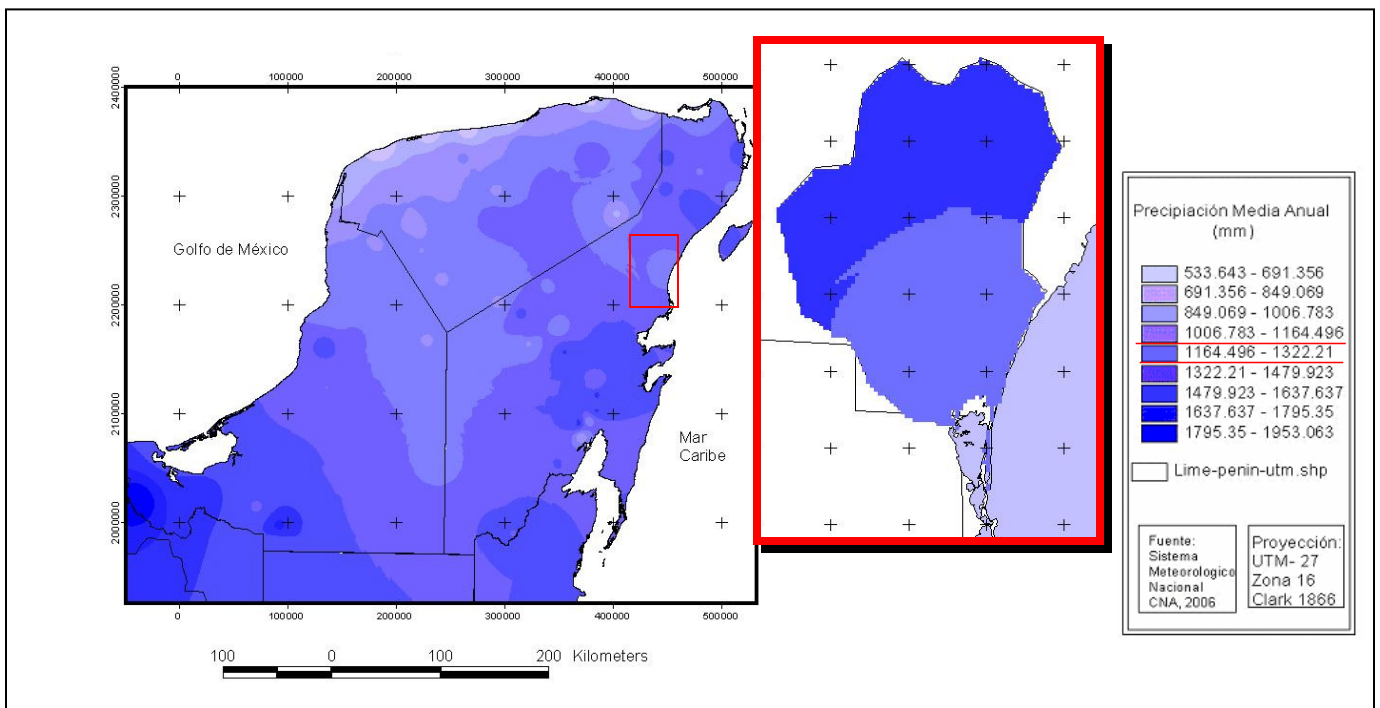


Figura 52. Precipitación media anual para la cuenca Tulum

6.2.2.2 Evapotranspiración

Las condiciones básicas para la ocurrencia del mecanismo de evaporación son la existencia de una fuente de energía que en este caso es la radiación solar, y la existencia de un gradiente de concentración de vapor, es decir una diferencia entre la presión de saturación de vapor existente en la capa que limita el agua y el aire y la presión de vapor de aire actual a la temperatura del aire. Otras características que influyen es la variación de intensidad de radiación solar recibida en la superficie, la cual produce una variación de temperatura en esta, modificando la energía cinética de las moléculas. A altas temperaturas, más moléculas escapan de la superficie, debido a mayor energía cinética; la temperatura y la humedad del aire también condicionan la presión de vapor del mismo y actúan, como factores ligados al gradiente de concentración de vapor entre la superficie del agua y el aire vecino; el viento modifica el estrato del aire vecino a la superficie, substituyendo un estrato muchas veces saturado por uno con menor contenido de vapor de agua. En el estrato que está en contacto con la superficie de agua el movimiento de vapor es dado por las moléculas individuales, pero por encima de este estrato límite superficial, el responsable es el movimiento turbulento del aire. Existen otros factores que en mucho menor grado influyen en la evaporación como la presión atmosférica, las características de la superficie evaporante, salinidad del agua y humedad, textura y composición del suelo.

La evapotranspiración por otro lado es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente a través de las plantas vuelve a la atmósfera en forma de vapor, por lo que se considera una salida de agua del sistema.

En este balance se utilizó la metodología TURC, método para calcular la evapotranspiración media anual, Turc estudió datos de 245 hojas hidrográficas de todo el mundo, siendo entonces la pérdida de agua observada en una

superficie líquida o sólida saturada, en las condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo, por fenómenos de evaporación y por transpiración de las plantas (Monsalve, 1999).

La evapotranspiración depende de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta (Díaz *et al.*, 2005). Debido a la densa cobertura vegetal de la cuenca y a la poca pendiente topográfica del terreno y las elevadas temperaturas se estimó una evapotranspiración en el sistema es de 1,160,155.68 m³/año. La evapotranspiración es la forma de salida de agua mayor del sistema. Se obtuvieron datos de evapotranspiración media para la cuenca de 1002 mm/año, con una evapotranspiración mínima al norte de la cuenca de 973.55mm/año, y una evapotranspiración máxima de 1042.72 mm/año, como se observa en la figura 53.

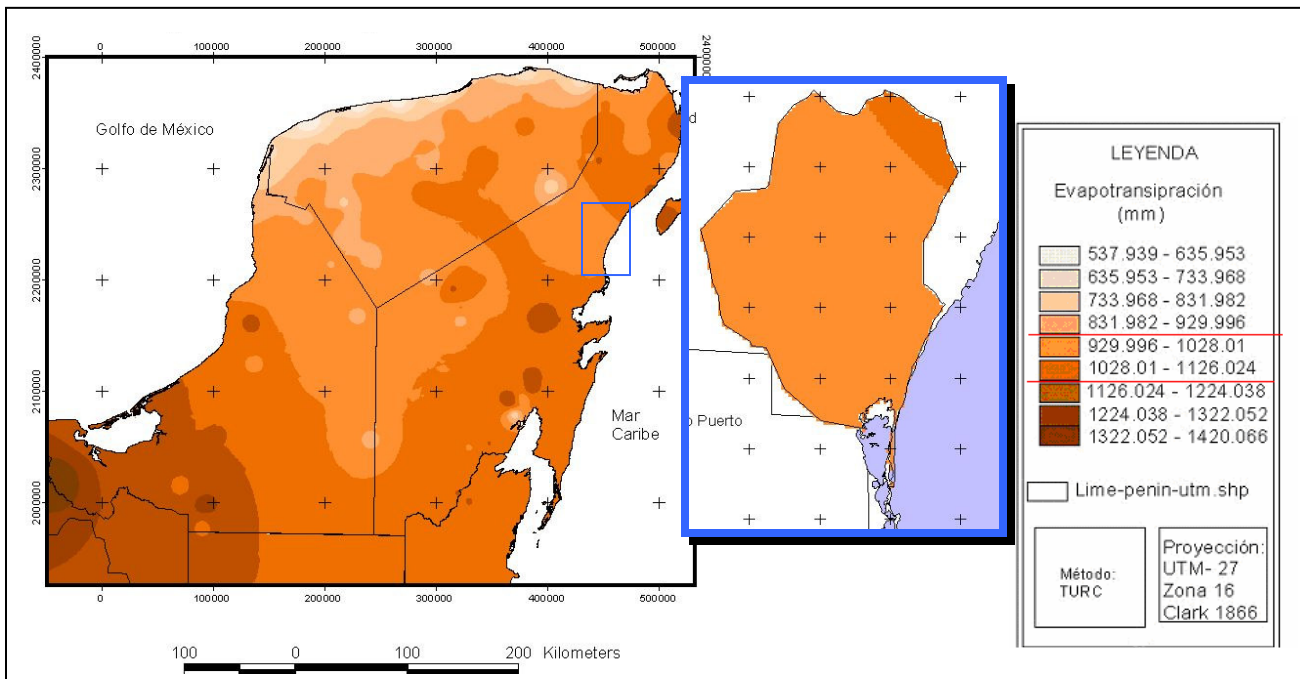


Figura 53. Evapotranspiración media anual para la Península de Yucatán

6.2.2.3 Escurrimiento

El escurrimiento superficial consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. De la precipitación que alcanza el suelo parte queda retenida ya sea en depresiones o como película en torno a partículas sólidas. Del excedente de agua retenida, parte se evapotranspira y una pequeña parte se escurre, debido a que la pendiente del terreno es menor al dos por ciento, el agua restante se infiltra como se explicará en el punto 6.2.2.4.

El escurrimiento superficial comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, cabe destacar que en esta zona no hay escorrentías de corrientes de agua permanentes como ríos y el flujo del agua se da de forma subterránea (Monsalve, 1999).

Entre los diversos factores que influyen en la escorrentía superficial se tienen principalmente: Los factores de tipo climático; la intensidad de la precipitación, cuanto mayor es la intensidad de precipitación más rápido el suelo colma su capacidad de infiltración y se provoca un exceso de precipitación que escurrirá superficialmente. La duración de la precipitación es directamente proporcional a la escorrentía superficial, para lluvias de intensidad constante habrá mayor oportunidad de escorrentía superficial cuanto mayor haya sido su duración y la precipitación antecedente, esta es una precipitación que ocurre cuando el suelo está húmedo debido a una lluvia anterior, tendrá mayor facilidad de convertirse en escorrentía superficial.

Los factores fisiográficos; entre estos factores se pueden mencionar el área de captación, la permeabilidad del suelo y la pendiente del terreno; La extensión del área está directamente relacionada con la mayor o menor cantidad de agua de escorrentía superficial que la hoya puede generar. La permeabilidad influye directamente en la capacidad de infiltración. Cuanto más permeable sea el

suelo, como es en el caso del área de estudio, mayor es la cantidad de agua que puede absorber, disminuyendo así la ocurrencia de exceso de precipitación.

Los factores humanos; estos factores quedan representados por la alteración de las cuencas que el hombre produce al construir obras hidráulicas, desforestar la selva (Monsalve, 1999).

Para determinar el escurrimiento se determinó el coeficiente de escurrimiento el cual es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado en un intervalo de tiempo determinado. La figura 54 muestra el coeficiente de escurrimiento para la Península de Yucatán, siendo para la cuenca de 0.06 a 0.09. El coeficiente de escurrimiento está dado en función del factor K que se encuentra en función del tipo de suelo y la vegetación de la zona. EL factor K para la cuenca es de 0.1 a 0.13 con condiciones de cobertura vegetal de selvas bien conservadas (ver tabla 2).

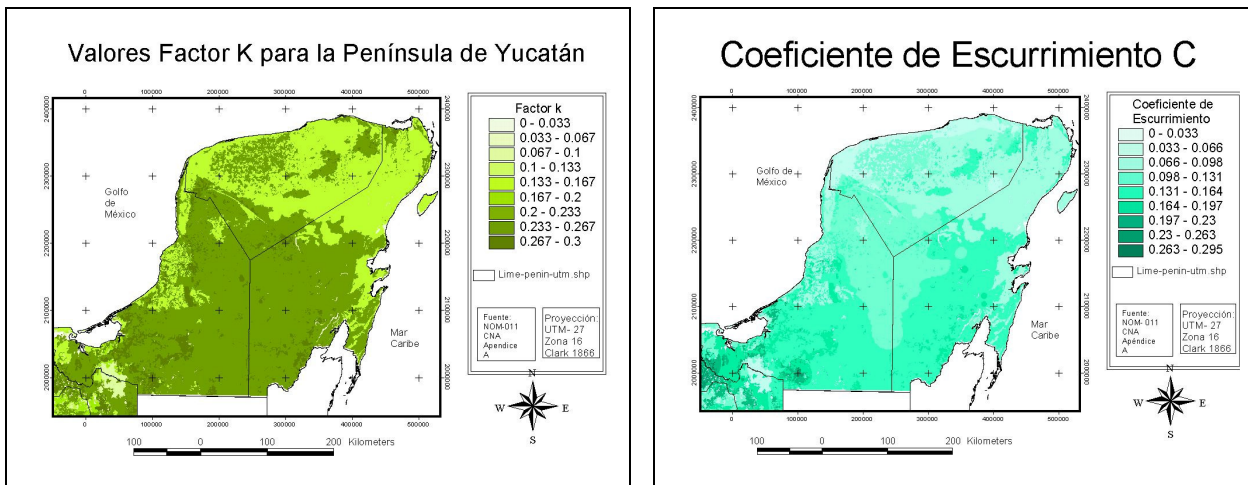


Figura 54. Coeficiente de escurrimiento medio anual y valores de factor K para la Península de Yucatán

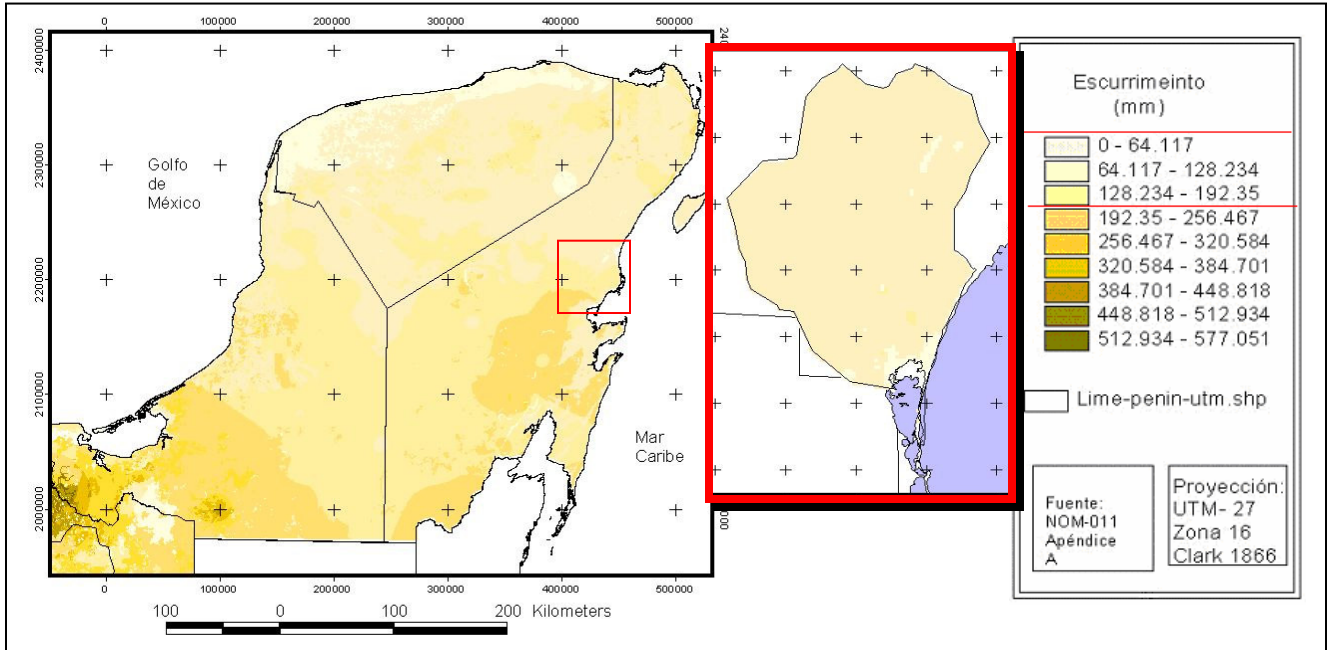


Figura 55. Esgurrimento medio anual de la cuenca Tulum

El escurrimento medio anual obtenido, utilizando la metodología de la NOM-011-CNA, dio valores 91.71mm/año, con un escurrimento mínimo de cero y máximo de 158.408 mm/año, como lo muestra la figura 55. Se estima un volumen medio anual de 106,521.28 m³/año, como salida de agua del sistema por escurrimento.

6.2.2.4 Infiltración

Se entiende por infiltración el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través del terreno, procedente de la lluvia sobre la superficie del suelo. Con el agua penetran en el suelo las sustancias que lleve disueltas y en suspensión. Superando la capacidad de campo del suelo (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener), el agua descende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Los factores que afectan la infiltración en la zona son:

Meteorológicos, como son las características de la precipitación, en esta zona hay una elevada precipitación (1666.83 mm/año), que podría compactar el suelo pero debido a la densa capa vegetal que lo cubre, lo protege. La elevada temperatura en la cuenca permite que el agua en el suelo se mantenga en estado líquido y se infiltre.

Los factores bióticos, como la vegetación, la cual con sus raíces facilita la infiltración y protege al terreno de compactarse.

Los factores dependientes del fluido que se infiltra, depende del espesor de la lámina de agua sobre el terreno, la turbidez del agua, a mayor turbidez menor infiltración debido a que los sólidos en suspensión penetran en el suelo y aumentan la compactación, el contenido de sales puede favorecer la floculación con los coloides del suelo, lo que reduce la intensidad de la infiltración. La temperatura del agua afecta su viscosidad y por lo tanto la facilidad con la que el agua discurre.

Y por último los factores antrópicos, el grado de urbanización disminuye la infiltración, por la pavimentación esto ocurre en las carreteras y la zona urbana de Tulum. En las zonas que se practica ganadería, las pisadas de los animales compactan el suelo. Lo mismo ocurre con las zonas cultivadas donde la maquinaria puede compactar el suelo.

En este caso la infiltración se estimó por diferencia, debido a la dificultad de obtener datos medidos, con infiltrómetros, y que sea un registro histórico, obteniendo los valores de infiltración media anual de 73.34 mm/año, una infiltración mínima de 0 y máxima de 189.76mm/año. Se estimó un volumen medio anual de 84,522.32 m³/año como salida del sistema en la cuenca por infiltración.

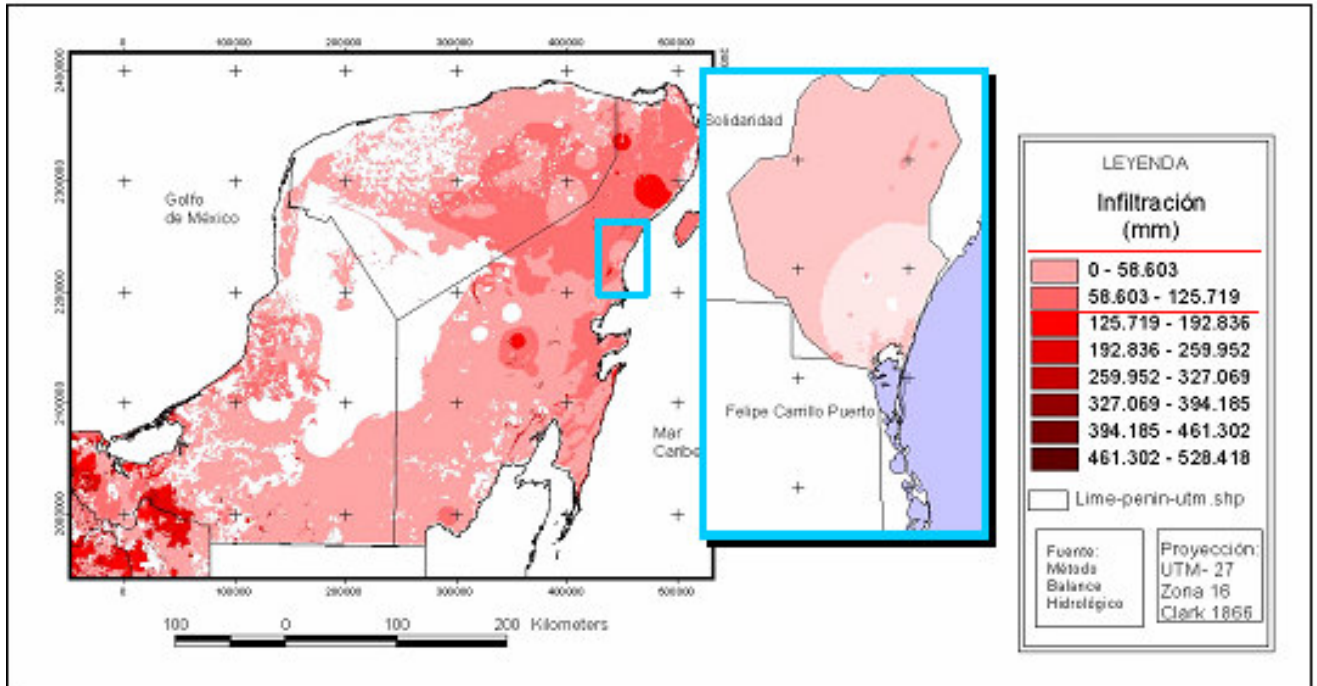


Figura 56. Infiltración media anual para la Península de Yucatan

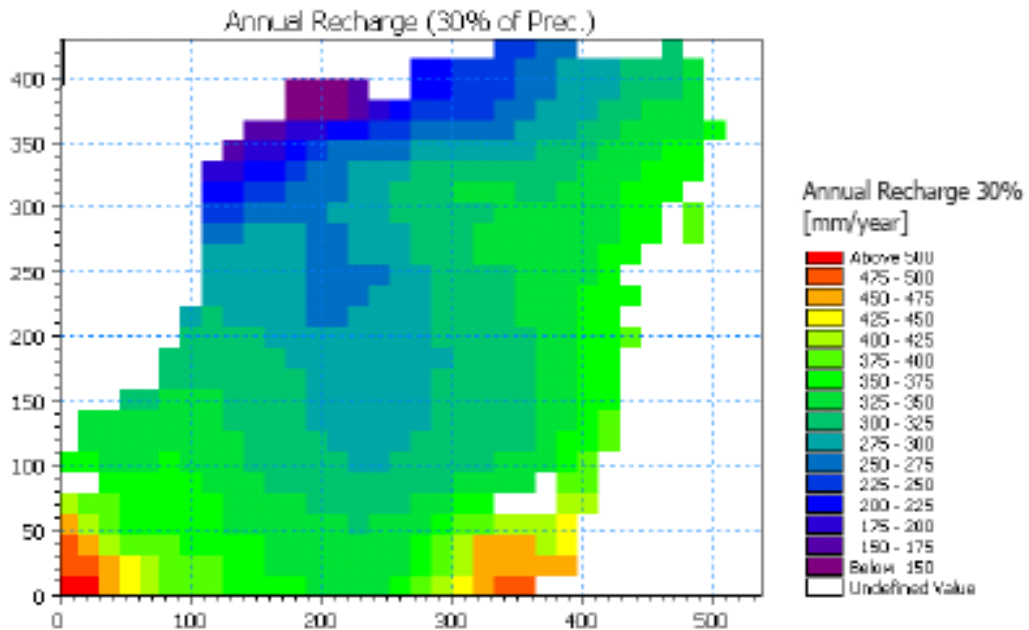


Figura 57.(Neuma & Rahbek, 2006) Distribución espacial de la recarga promedio anual (mm/año) considerando que la recarga es el 30% de la precipitación anual media en base a datos del IWMI (2006).

En la figura 57 Neuma y Rahbek calcularon la recarga promedio anual considerando que esta es el 30% de la precipitación media anual encontrando para la zona de la cuenca tulum valores de 350 a 375 mm/año, mucho mayores a los estimados en el balance hidrológico realizado en este trabajo.

Tabla 43. Resultados de balance hidrometeorológico para la cuenca Tulum

Parámetro	Media Anual Lámina (mm/año)	m ³ /año	%
ENTRADAS			
Precipitación	1167	1,351,199.28	100
SALIDAS			
Evapotranspiración	1002	1,160,155.68	85.86
Infiltración	73	84,522.32	6.25
Escurrimiento	92	106,521.28	7.88

La percepción de la población sobre el balance hidrológico no es muy clara como lo muestra la figura 58, en la cual la autoridad local del agua muestra el ciclo del agua con características que no corresponden a las de la región, incluyendo montañas y ríos superficiales.



Figura 58. Interpretación del ciclo del agua, programa de educación ambiental de CAPA en comunidad de Francisco Uh May

6.2.3 Vulnerabilidad del Acuífero

6.2.3.1 DRASTIC

Los siete parámetros utilizados para este modelo son:

6.2.3.1.1 Profundidad del nivel estático.

Se utilizaron los datos de profundidad del nivel estático que presenta la Actualización Geohidrológica del Acuífero de la Zona Norte del Estado de Quintana Roo (Polígono comprendido entre Cancún, Nuevo Xcan, Coba y Tulum), realizada por CONAGUA en el 2005. El nivel estático en los aprovechamientos censados varía entre uno y 21 m, incrementándose hacia la región continental y disminuyendo hacia la costa, siendo la media aritmética de seis metros. La configuración de la profundidad al nivel estático fue elaborada con datos medidos en campo en el mes de agosto de 2001. En la figura 59 se presenta la variación de este parámetro en los aprovechamientos censados en este estudio.

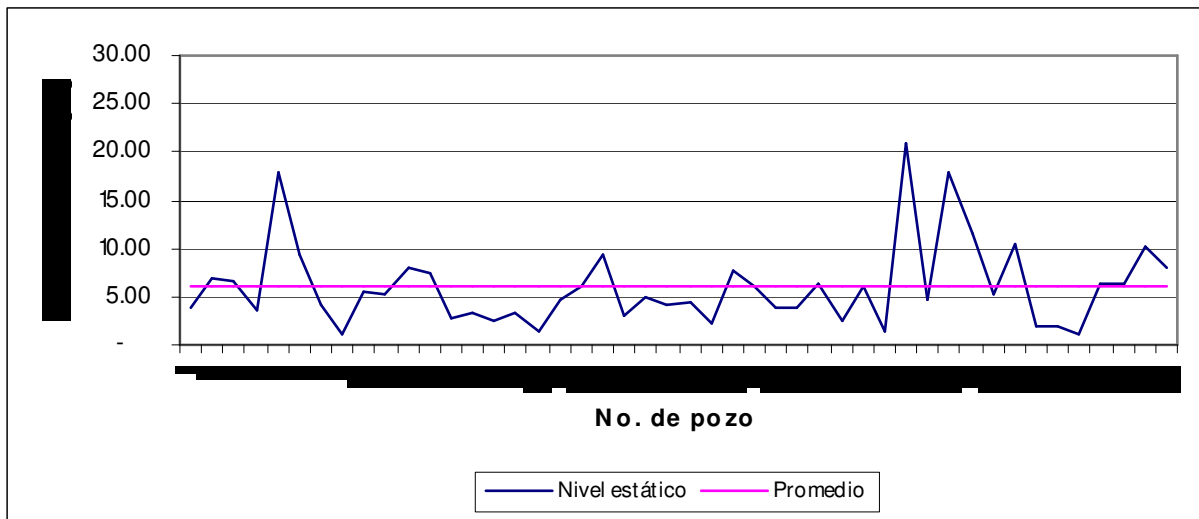


Figura 59. Variación de los aprovechamientos censados (CONAGUA, 2005)

El nivel estático para la cuenca va de los cero a 16.71 metros disminuyendo

hacia la costa. En general, puede establecerse que el acuífero se divide verticalmente en tres partes; la zona de agua dulce, resultado de la infiltración del agua de lluvia (incluye la zona no saturada), la cual descansa sobre la zona de agua salobre, llamada también zona de mezcla o interfase salina, y la zona de agua salada a profundidad (Back W. y Hanshaw B., 1980, en CONAGUA, 2005).

Por lo general, en los acuíferos costeros el lente de agua dulce incrementa hacia la región continental y disminuye hacia la costa, ocurriendo lo mismo con el espesor de la interfase salina, como se muestra en la figura 60.

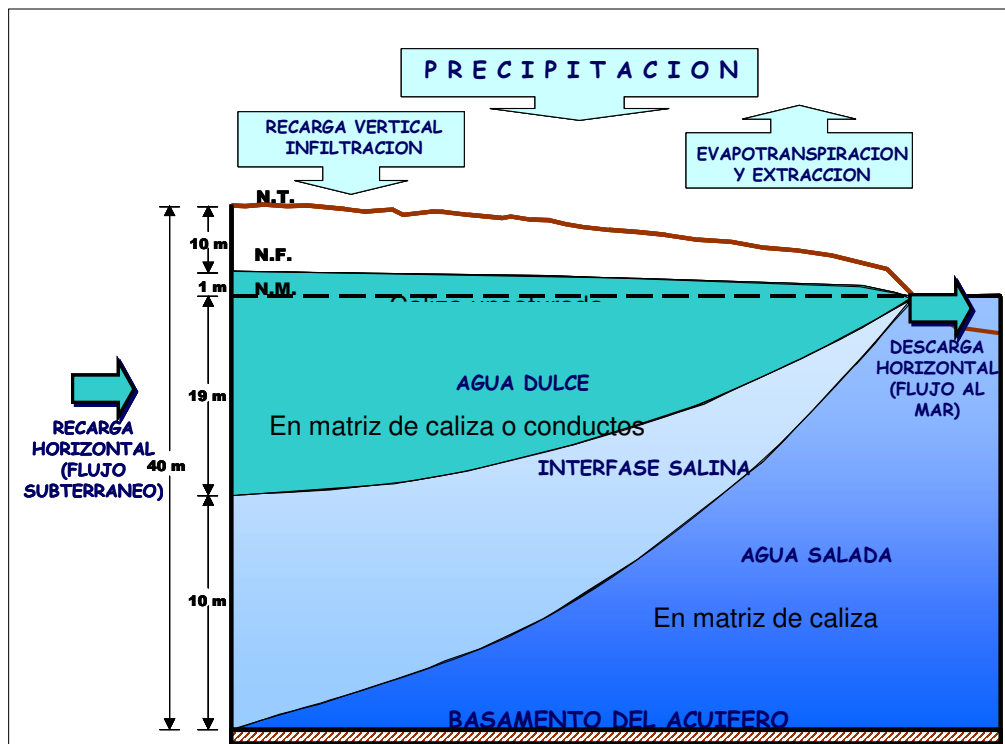


Figura 60. Descripción del lente de agua dulce, interfase salina y agua salada (CONAGUA, 2005)

En la figura 61 se muestra la profundidad del nivel estático para la cuenca el cual se obtuvo de la interpolación con el método IDW a través del paquete Spatial Analyst de ArcView 3.2, de los datos censados por CONAGUA.

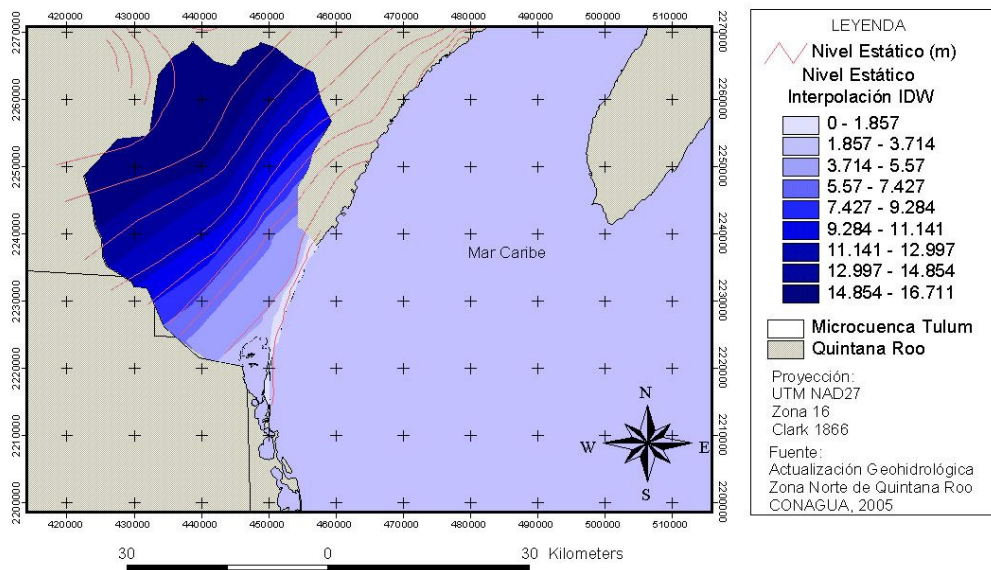


Figura 61. Profundidad del Nivel Estático para la cuenca

Los rangos y los puntajes que establece el método DRASTIC para la profundidad del agua son los que muestra la tabla 44.

Tabla 44. Rangos y puntajes establecidos para profundidad del agua por DRASTIC

Rango (pies)	Puntaje
0-5	10
5-15	9
15-30	7
30-50	5
50-75	3
75-100	2
100+	1

6.2.3.1.2 Infiltración.

Se utilizó los cálculos de infiltración realizados para el balance hidrológico descritos en el punto 6.2.2.4 (Figura 56).

Los rangos y puntajes que se le asignan a la infiltración son los descritos en la tabla 46.

Tabla 45. Rangos y puntajes establecidos para la infiltración por DRASTIC

Rango (pulgadas)	Puntaje
0-2	1
2-4	3
4-7	6
7-10	8
10+	9

6.2.3.1.3 Material del acuífero.

Se utilizó la carta hidrogeológica de la Sinopsis Geohidrológica del Estado de Quintana Roo, de la Secretaría de Agricultura y Recurso Hidráulicos, (1989), escala 1:600,000. Los puntajes de las características de material del acuífero que se otorgan en esta metodología son los descritos en la tabla 48.

Tabla 46. Rangos y puntajes establecidos para el material del acuífero

Rango (pies)	Puntaje
Massive Shale 1	2
Metamorphic/Igneous 2-5	3
Weathered Metamorphic/Igneous 3-5	4
Glacial Till 4-6	5
Bedded Sandstone, Limestone and shale sequences 5-9	6
Massive Sandstone 4-9	6
Massive Limestone 4-9	8
Sand and Gravel 4-9	8
Basalt 2-10	9
Karst Limestone 9-10	10

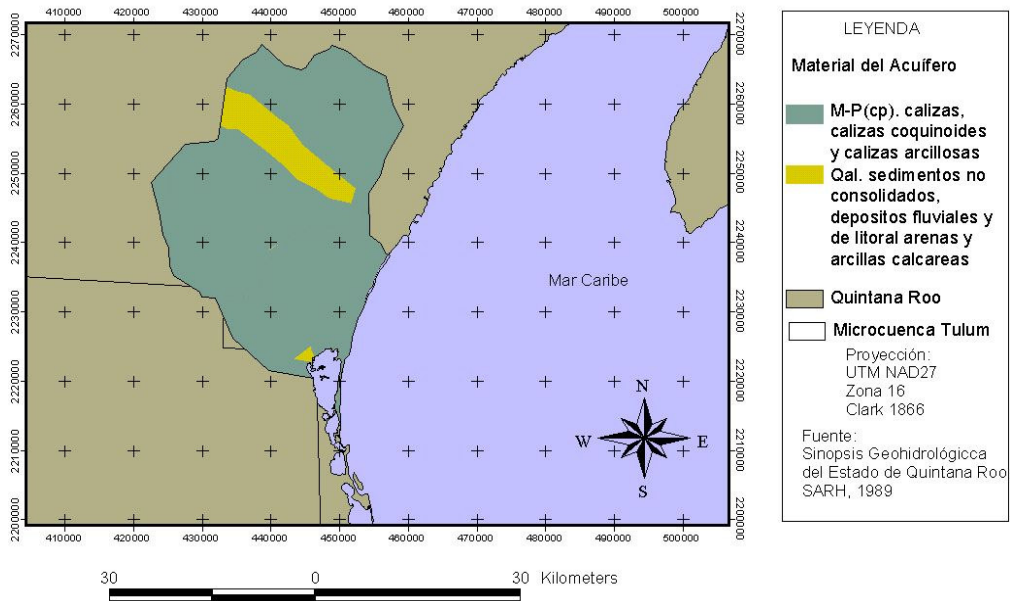


Figura 62. Material del acuífero para la cuenca Tulum

El material del acuífero predominante en la cuenca consiste de (M-P(cp)) calizas, calizas coquinoideas y calizas arcillosas del Mioceno-Plioceno del Terciario de la formación Carrillo Puerto. Son rocas fracturadas con importancia geológica relativa media a grande, es un acuífero regional restringido a rocas fracturadas ampliadas en grandes áreas por disolución cárstica, formado por rocas carbonatadas, y con una permeabilidad de media a grande conteniendo aguas generalmente duras; de igual forma se observa una franja en la parte centro-norte de la cuenca de sedimentos no consolidados del cuaternario (Qal), este consiste en depósitos fluviales y de litoral consistentes en arenas y arcillas calcáreas, consiste en roca porosa o fracturada con importancia geológica relativa muy pequeña o nula, es un acuífero local limitado constituido por delgadas capas de arcillas calcáreas. La permeabilidad es muy baja y la calidad química del agua de buena a regular (SARH, 1989).

6.2.3.1.4 Tipo de suelo.

Las características de los suelos de la cuenca se describen en el capítulo 6.1.2.2. En la figura 63 se muestra el medio del suelo predominando las arcillas y encontrando hacia la costa limos y arenas. Esta información se obtuvo de la capa de suelos de la FAO de 1990.

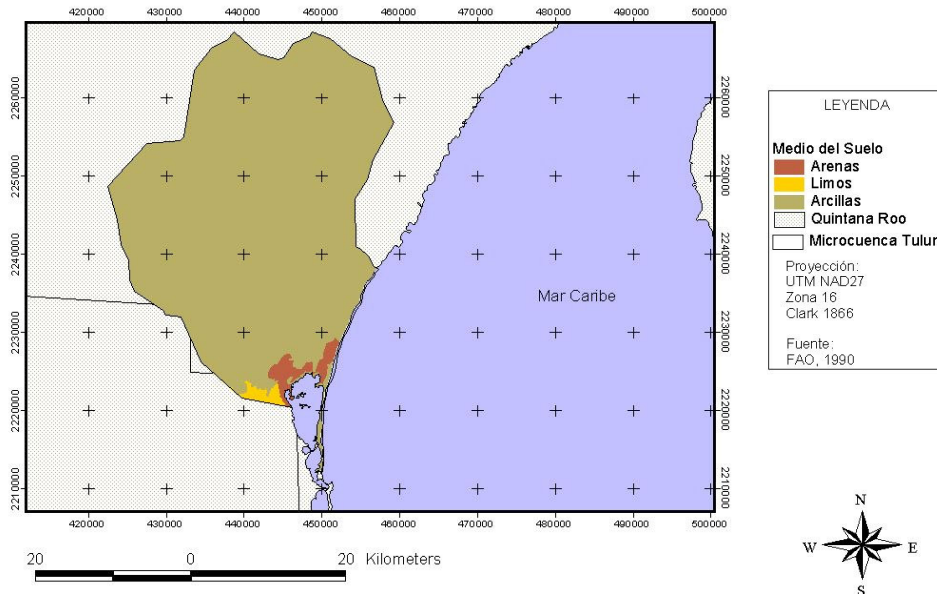


Figura 63. Texturas de suelos para la cuenca
Los rangos y puntajes para el material del suelo que establece DRASTIC son los descritos en la tabla 47.

Tabla 47. Rangos y puntajes asignados al material del suelo por DRASTIC

Rango	Puntaje
Thin or absent	10
Gravel	10
Sand	9
Peat	8
Shrinking and or aggregated clay	7
Sandy Loam	6
Loam	5
Silty Loam	4
Clay Loam	3
Muck	2
Nonshrinking and nonaggregated Clay	1

6.2.3.1.5 Topografía.

La cuenca Tulum se caracteriza por tener una pendiente menor al uno por ciento. Esto se estimó al calcular la pendiente por medio SLOPE en base al modelo digital de elevaciones (proporcionado por ASK). La figura 64 muestra la pendiente de la cuenca en porcentaje.

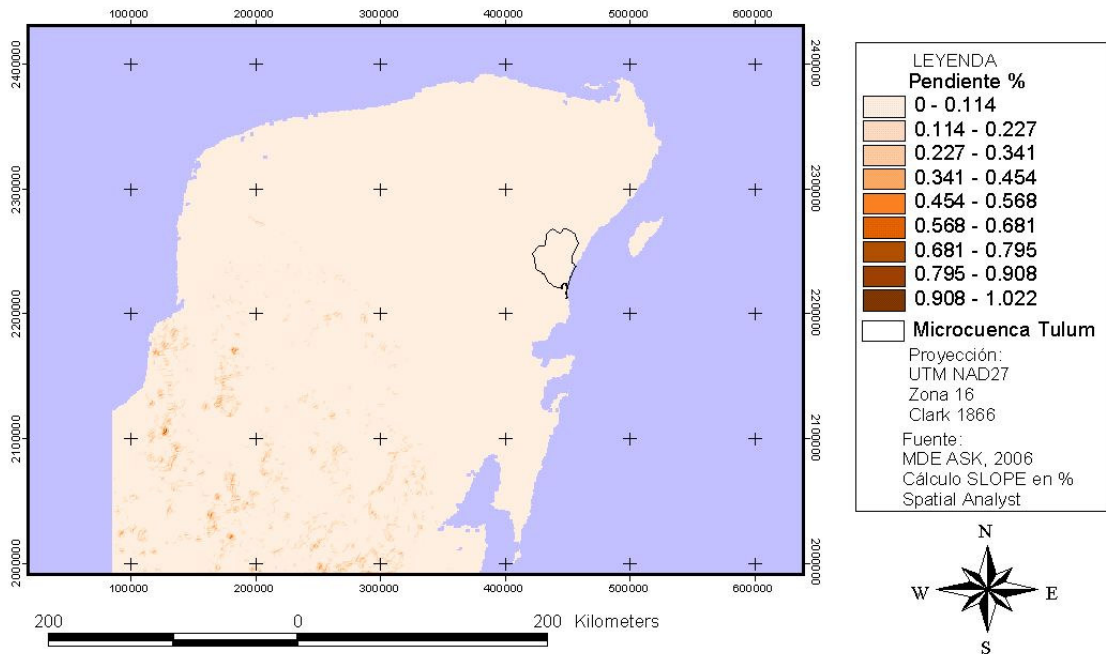


Figura 64. Pendiente % de la Península de Yucatán

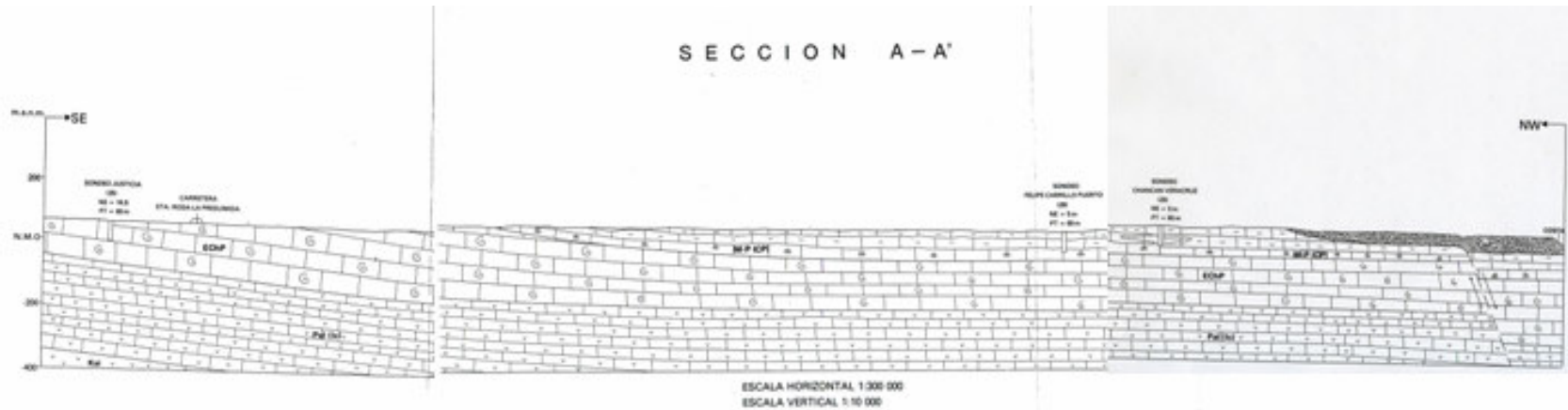
Los rangos y puntajes para la pendiente que el método DRASTIC establece son los descritos en la tabla 48.

Tabla 48. Rangos y puntajes establecidos para la pendiente por DRASTIC

Rango (%)	Puntaje
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

6.2.3.1.6 Material de la zona no saturada.

El material de la zona no saturada esta constituido por calizas coquinoideas, calizas arcillosas, arenas y arcillas calcáreas. Se utilizó el mapa geológico de la Sinopsis geohidrológica de Quintana Roo, (SARH, 1989), analizando la sección geológica esquemática de Quintana Roo que se muestra enseguida. Los rangos y puntajes que el método DRASTIC establece para el material de la zona no saturada son los descritos en la tabla 49.



LEYENDA

EDAD	SIMBOLO	DESCRIPCION	ESPESOR
CUATERNARIO	RECIENTE	Qal	10 a 160 m
	PLIOCENO - MIOCENO	M-P ICP	200 m
		M-P IER	100 m
TERCIARIO	EOCENO - PALEOCENO	M-P IBl	100 m
		ECOP	VARIOS CENTOS DE m.
CRETACICO	SUPERIOR	Pal Ial	
		Kal	

SIMBOLOGIA

CONTACTO GEOLOGICO	
FALLA NORMAL	
FALLA NORMAL INFERIDA	
CONTACTO DISCORDANTE	
NOMBRE DEL POZO O SONDEO SARH	POZO XAC-XAN
NUMERO DE IDENTIFICACION EN EL LISTADO ANEXO	
PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO EN m.	NE = 16.5 m
PROFUNDIDAD TOTAL EN m.	PT = 60 m
NOMBRE DE POBLADO	CHETUMAL
SIMBOLO DE POBLADO	

Figura 65. Secciones Geológicas Esquemáticas de Quintana Roo (SARH,1989)

Tabla 49. Rangos y puntajes establecidos para el material de la zona no saturada por DRASTIC

Rango	Puntaje
Confining Layer 1	1
Silt/Clay 2-6	3
Shale 2-6	3
Limestone 2-5	3
Sandstone 2-7	6
Bedded Limestone, sandstone, Shale 4-8	6
Sand and Gravel with significant Silt and Clay 4-8	6
Sand and Gravel 4-8	8
Basalt 2-10	9
Karst limestone 8-10	10

6.2.3.1.7 Conductividad Hidráulica.

La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. No fue posible encontrar valores de conductividad hidráulica para cada una de las zonas del área de estudio, pero en revisión bibliográfica se encontraron valores de conductividad hidráulica para una zona a ocho km al sur de Playa del Carmen calculado por la ley de Darcy utilizando velocidades del agua y gradiente hidráulico medidas por Moore *et al*, 1992, (en Neuman & Rahbek, 2006). Neuman y Rahbek (2006) presentan valores de conductividad hidráulica para calibrar su modelo hidrológico para estimar el lente de agua en un área de estudio que abarca la cuenca Tulum. Estos valores se encuentran en el rango de 0.03 a 0.14 m/s. Todos los valores mencionados para esta zona se encuentran en el rango de 2000+ de DRASTIC, por lo que será el rango a utilizar en este modelo.

Tabla 50. Valores de conductividad hidráulica encontrados para la zona (CONAGUA, 2005 y Neuman & Rahbek, 2006)

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA O PERMEABILIDAD (m/s)	REFERENCIA	LUGAR DE OBTENCION
0.19	Moore <i>et al</i> , 1992, en Neuman & Rahbek, (2006)	8 km al sur de Playa el Carmen
0.85	Neuman & Rahbek, (2006)	Caleta Xelha
0.03 a 0.14	Buckley & Mcdonald (1994)	Porción centro sur de Quintana Roo
1.5 E - 3	Méndez Ramos (1991)	Acuífero de la ciudad de Mérida
6.4 E - 2	Marín Ponce (1990)	Acuífero de la ciudad de Mérida
1.0 E - 1 a 1.0 E 0	Reeve & Perry (1990)	NW de la Península de Yucatán
5.0 E - 1 a 3.0 E - 4	Martínez Guerra (1990)	Norte de Mérida (Chuburná)
1.0 E - 2 a 1.0 E - 3	Villasuso Pino (1984,90)	Isla Cozumel
8.7 E - 3 a 3.2 E - 4	Back & Lesser (1981)	Pozos pluviales ciudad de Mérida
1.0 E - 2		Balance Península de Yucatán

Los rangos y puntajes para la conductividad hidráulica que establece el método DRASTIC son los descritos en la tabla 51.

Tabla 51. Rangos y puntajes establecidos para conductividad hidráulica por DRASTIC

Rango (GPD/Ft²)	Puntaje
1-100	1
100-300	2
300-700	4
700-1000	6
1000-2000	8
2000+	10

Los valores encontrados todos corresponden al rango DRASTIC de 2000+ GDP/ft². En resumen los rangos y multiplicadores de peso que se asignaron a cada parámetro para el modelo DRASTIC son los descritos en la tabla 50.

Tabla 52. Rangos y multiplicadores de peso para DRASTIC

Parámetro	Peso Relativo	Rango	Puntaje
D	5	De 0 a 180 pies	5 a 10
R	4	38.22 a 48.86 pulgadas	9
A	3	Arenas-Calizas Cárstica	8 y 10
S	2	Arenas, Arcillas y Limos	1,5 y 9
T	1	0 a 1 %	10
I	5	Arcillas-Arenas Calizas	6 y 10
C	3	700 a 1000 y 2000+ GPD/Ft ²	6 y 10

Los Índices máximo y mínimo resultantes de vulnerabilidad intrínseca para el acuífero son 151-224 respectivamente obtenido por el método DRASTIC. Los extremos posibles para cualquier acuífero (metodología DRASTIC) son 230 y 23 (ver Tabla 53).

Tabla 53. Rangos de Vulnerabilidad

ID	Descripción
23 - 99	Vulnerabilidad Baja
100 - 159	Vulnerabilidad Moderada
160 - 230	Vulnerabilidad Elevada

De la conjunción de los mapas correspondientes a cada propiedad (Datos de entrada) se obtuvo el Índice General de Vulnerabilidad para cada punto. La diferencia entre los valores máximo y mínimo obtenidos para el índice en toda el área se dividió en los rangos: bajo, medio y alto, tal encontrando 5847.135 ha con vulnerabilidad media y 109889.172 ha con vulnerabilidad alta en la cuenca Tulum.

Tabla 54. Índice DRASTIC medio y porcentaje que representan del puntaje general.

	D	R	A	S	T	I	C
Promedio	27.05	5.36	24.99	10.04	10	46.5	30
% de total	17.57	3.4	1.62	6.5	6.4	30.2	19.4

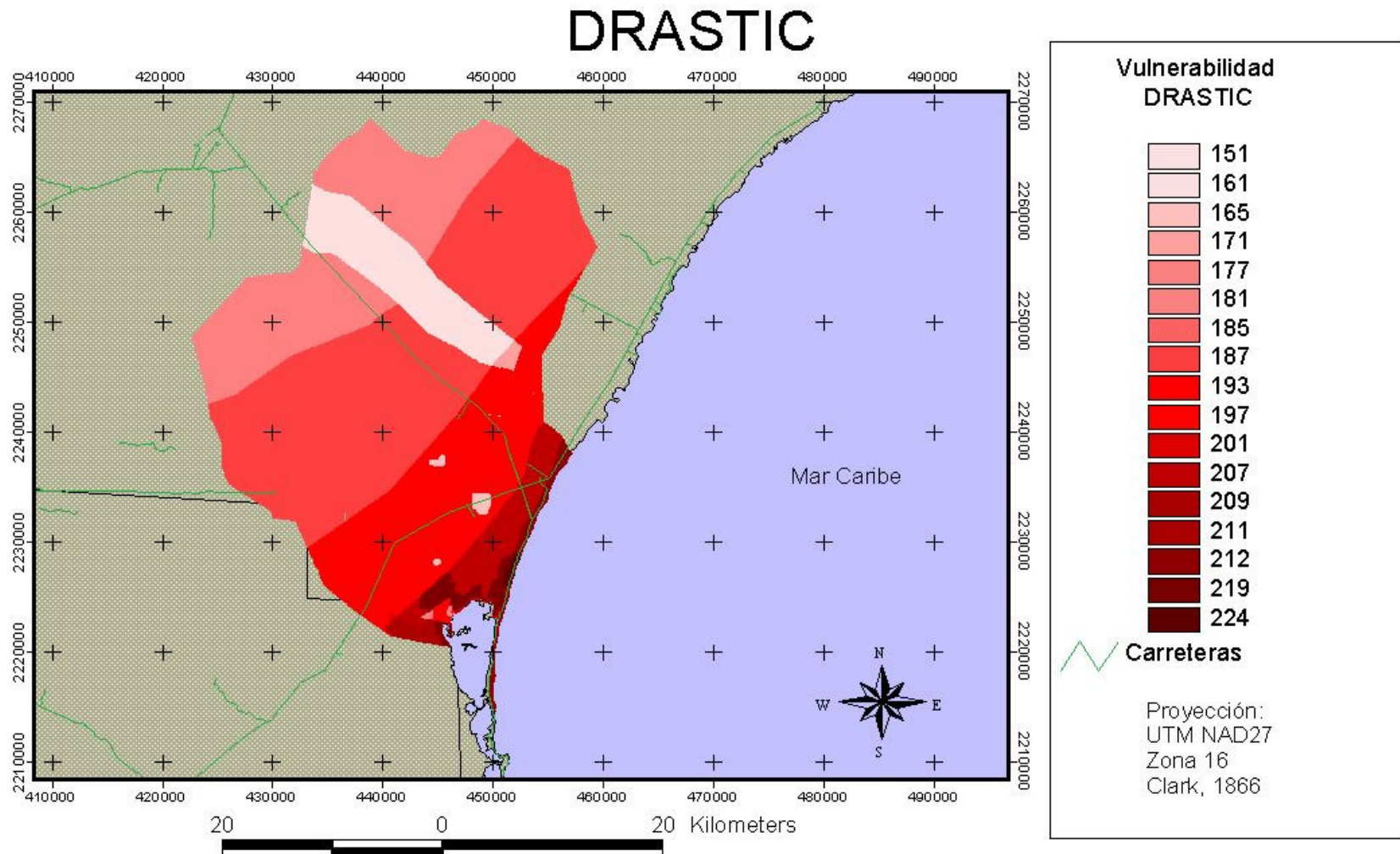


Figura 66. Resultado Vulnerabilidad del Acuífero Método DRASTIC

En el método DRASTIC la mayor contribución a la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación está dada por las características del material del acuífero y la zona no saturada, precedida por las condiciones de recarga, la profundidad al nivel freático y la conductividad hidráulica como se muestra en la tabla 54. El tipo de suelo y la pendiente fueron los parámetros con menor contribución. Estos parámetros están determinados en la metodología.

En la figura 66 se muestran los resultados obtenidos con la implementación del modelo DRASTIC. Sin embargo este método no considera las características tan especiales del acuífero de Quintana Roo como son el grado de carstificación, la presencia de cuerpos de agua superficiales y la presencia de cuevas y cavernas en los cuales se da el flujo de agua de manera subterránea. El resultado es solamente una aproximación, uno de los primeros ejercicios para establecer la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Sin embargo es evidente que la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se incrementa hacia la costa. Por lo anterior, se decidió elaborar otro ejercicio con el modelo SINTACS el cual se aproxima más a las características propias del acuífero de Quintana Roo.

6.2.3.2 SINTACS

Se decidió elaborar el método SINTACS, ya que es una derivación de método DRASTIC descrito anteriormente y utiliza los mismos siete parámetros. Según Cucchi, Forti y Zini, (2003), SINTACS parece ser el mejor método para acuíferos cársticos porque da una amplia gama de posibilidades para adaptar los parámetros a la situación real.

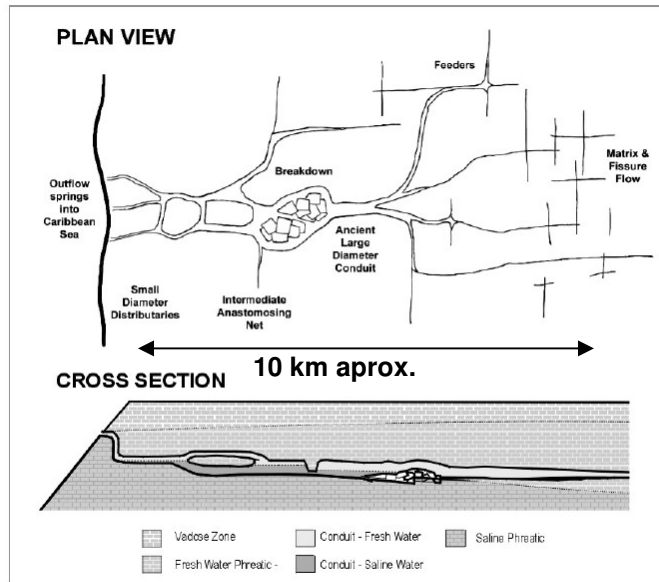


Figura 67. Diagrama del sistema de conductos en la Península de Yucatán zona del Caribe vista de planta y corte vertical, (Beddows, 2004)

A diferencia de Método DRASTIC, SINTACS, dependiendo de las características particulares de la red de drenaje el acuífero hace una diferenciación en tres tipos: con drenaje disperso y poco jerarquizado (tipo uno); con jerarquización parcial pero todavía con drenajes interdependientes (tipo dos); y con algunos drenajes dominantes y jerarquizados (tipo tres) (Civita, 1975). Esto es debido a los diferentes conductos y matrices que existen en la zona y estos van cambiando conforme nos acercamos a la costa. En la figura 67, Beddows describe el cambio de la presencia de una matriz y fisuras a la presencia de conductos de diámetros mayores hasta formar una red de drenaje que desemboca en el mar Caribe.

Una descripción mas detallada de esta clasificación del acuífero según su grado de desarrollo cárstico es la siguiente:

Acuífero Cárstico tipo uno. Es un acuífero cárstico joven, con formaciones superficiales embrionarias repartidas, disolución de dolinas someras, escasa cobertura cárstica, pocas cuevas, ausencia de drenajes profundos bien desarrollados, con características hidráulicas similares a un acuífero con

permeabilidad debido a fracturas y porosidad.

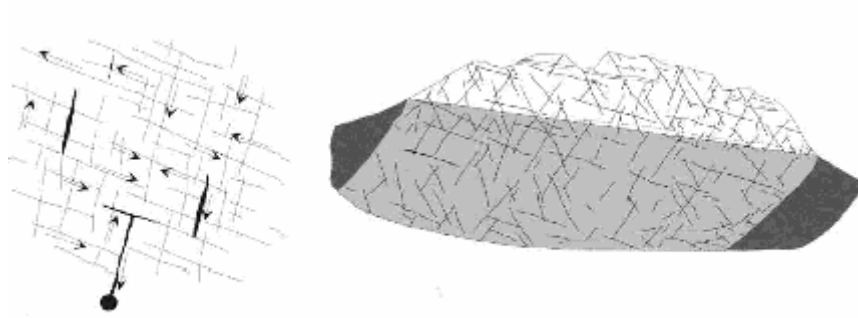


Figura 68. Acuífero cárstico tipo uno (Cucchi *et al* 2003)

Acuífero Cárstico tipo dos. Es un acuífero más bien desarrollado, con formas superficiales frecuentes, disolución de dolinas, profundo y amplio, presencia de cuevas con galerías grandes de drenaje, algunos manantiales con un flujo constante pero con gran variación en su hidroquímica e hidrodinámica.

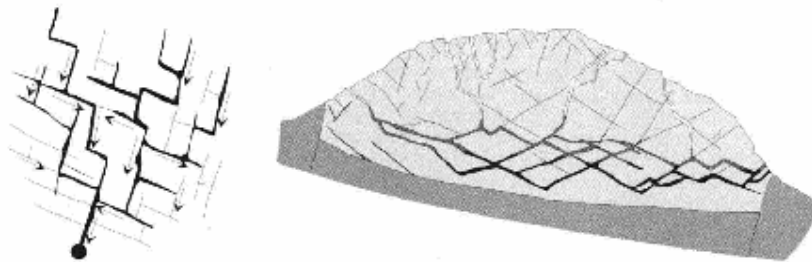


Figura 69. Acuífero Cárstico tipo 2 (Cucchi *et al* 2003)

Acuífero Cárstico tipo tres. Es un acuífero extremadamente bien desarrollado (a veces con formas residuales como mogotes), disolución profunda y amplia de y caída de dolinas, cubierta escasa, sistema cárstico complejo con presencia de largas galerías horizontales y enormes hoyos verticales, manantial o área única de salida con flujo escaso pero repentinamente variaciones en tiempo enormes de su química.

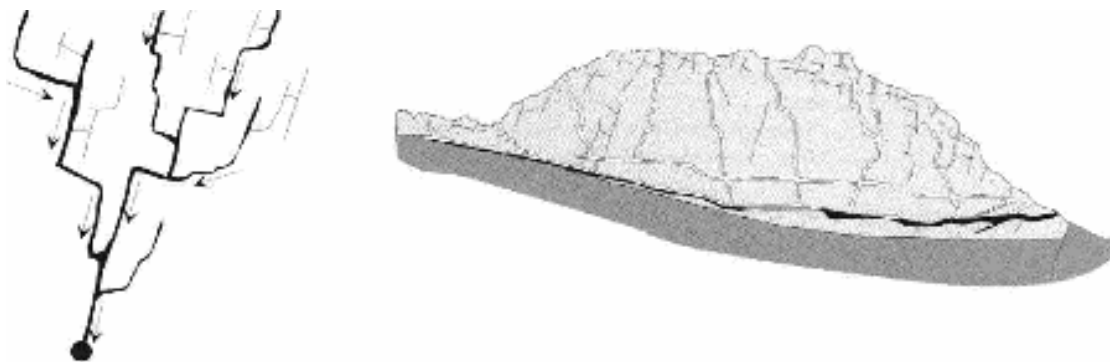


Figura 70. Acuífero Cárstico tipo tres (Cucchi *et al*, 2003)

Debido a que el acuífero se encuentra en un medio cárstico el flujo del agua se da en tres zonas diferentes: la matriz de la roca (poros interconectados), en una red de fracturas (aberturas de 0.01 o 0.1 mm a 10 mm) y en una red de conductos (10 mm a cientos metros), cada una de estas zonas tiene diferentes permeabilidades y patrones de flujo (White, 2003 en Neuman & Rahbek, 2006).

La diferenciación de los tipos de acuíferos cársticos (tipo uno y tres descritos anteriormente) se delimitaron utilizando las áreas potenciales a tener alta permeabilidad ubicadas por Neuman y Rahbek (2006), las cuales para designar estas áreas analizaron las siguientes tipos de estructuras: fallas y fracturas (utilizando las cartas del INEGI), áreas con desarrollo de conductos conocido (ríos subterráneos descritos en Smart *et al.*, 2006), áreas con alta densidad de cenotes (Imágenes de satélite y de Google Earth) y estructuras identificadas en imágenes de satélite que no son inmediatamente asociadas a flujos de agua. Las fallas y fracturas son estructuras de porosidad secundaria, que tienen alta permeabilidad por si mismas y además es seguido ver el desarrollo de conductos asociados a estas.

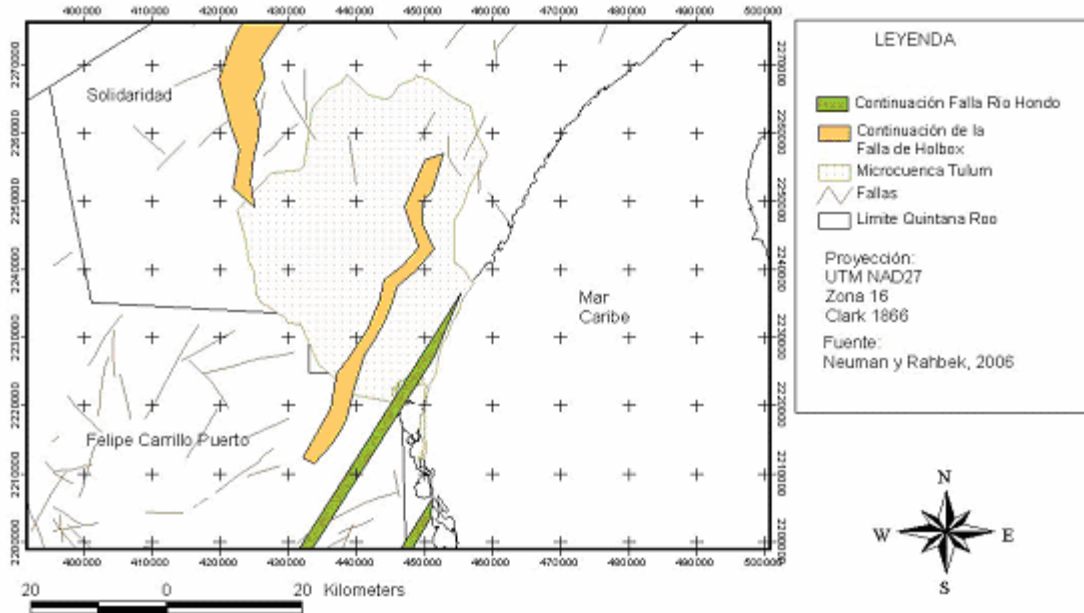
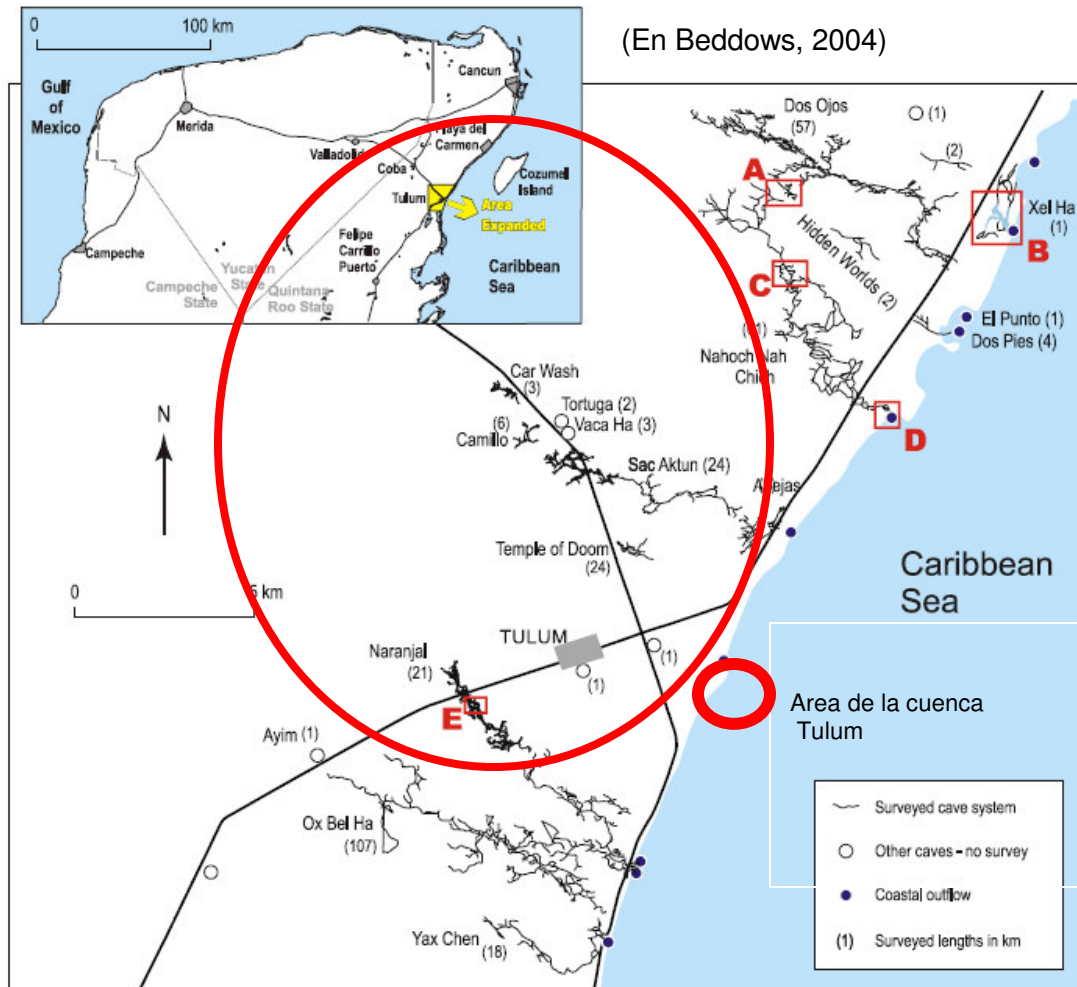


Figura 71. Fallas y fracturas en la cuenca

Quinientos km de cuevas han sido exploradas y mapeadas hasta 15 km tierra adentro en una franja paralela a la costa del caribe de Quintana Roo de 100 km (Smart *et al.*, 2006). Dentro de la cuenca se encuentran los siguientes sistemas de cuevas: Sac Actun, Tortugas, Naranjal y Ox Bel Ha (133 km largo, y el noveno en la lista de las cavernas más largas del mundo), todos estos sistemas se encuentran inundados y han sido explorados por buzos. Estos sistemas alimentan puntos de salida que se encuentran espaciados cada dos a tres km a lo largo de la costa y se encuentran comúnmente asociados a caletas o bahías. Estos sistemas se extienden no más de ocho a nueve km tierra adentro. Este límite coincide con la elevación en terreno de la fractura de Holbox débilmente definida en esta área, a partir de este límite cuevas continuas laterales son ausentes pero se encuentran cenotes. La densidad de pasajes de Ox Bel Ha y cuevas asociadas es de 4.3 km-km², bajando a 1.8km-km² del total de ocho a nueve km de zonas cavernosas mapeadas. Estos sistemas son anastómico (que contiene muchas ramificaciones y se interceptan unas a otras).

El tipo de pasaje predominante en estas cuevas es el tubo horizontal elíptico que es asociado con la posición de la haloclina presente. Aunque se cree que la disolución por mezcla es el proceso más importante que provoca la disolución de carbonatos y la formación de estas cuevas, proceso de reducción involucrando sulfatos es importante para la disolución de carbonatos en cenotes. Reoxidación de sulfuro en la capa de agua oxigenada también producirá disolución por la formación de ácido sulfúrico. Otro fenómeno que ocurre en estas cuevas es el colapso de techos en cuevas es extenso, resultando en rompimientos esparcidos y el desarrollo de cenotes, estos colapsos son resultado de la expansión de pasajes laterales en los techos al nivel de la zona de mezcla, la frágil, poco cementada caliza del pleistoceno y el retiramiento del boyante nivel del mar (Smart *et al.*, 2006).

Neuman y Rahbek (2006) decidieron en su análisis que debido a que los ríos subterráneos corresponden a la formación geológica del pleistoceno, para la delimitación de zonas de alta permeabilidad asumieron a toda esta de alta permeabilidad. Las áreas con alta concentración de cenotes, fueron establecidas a través de información registrada por los exploradores de cuevas, Coke, Meacham y Schmittner, los cenotes reportados por INEGI (sin año), ubicación de cenotes en de campo y los ubicados a través de imágenes de satélite.



- A. The Pit, Sistema Dos Ojos.
- B. Caleta Xel Ha.
- C. Main Entrance Series of Sistema Nohoch Nah Chich.
- D. Casa Cenote of Sistema Nohoch Nah Chich.
- E. Inland of Maya Blue, Sistema Naranja.

Figure drafted by J. Tooby & D. Ellis. Sources: Xel-Ha (Thomas, 1997), Dos Pies (DeVos et al., 1998), Hidden Worlds (Thomas, 1997), Dos Ojos (Quattlebaum, 2002), Nohoch Nah Chich (Hutcheson, 1994; Hutcheson, 1992), Car Wash (Coke et al., 1990), Camillo (www.cambrianfoundation.org), Sac Aktun (QRSS, 2000), Abejas (QRSS, 2002), Esqueleto aka Temple of Doom (Coke & Sutton, 1993), Naranja (Coke & Young, 1989), Ox Bel Ha (www.mexicocavediving.com/), Yaxchen (www.locogringo.com/exploration/yaxchen).

Figura 72. Sistema de cuencas explorados en las cercanías de Tulum

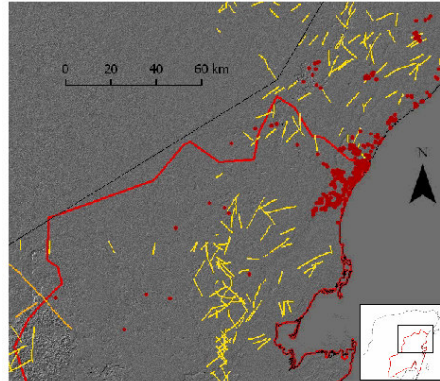


Figura 73. Zona de elevada concentración de cenotes (Neuman y Rahbek, 2006)

Para identificar áreas con flujo poroso secundario capaces de infiltrar grandes cantidades de agua de lluvia analizaron imágenes de satélite Landsat ETM + multiespectral e imágenes de Google Earth, a través de inspección visual encontrando en su análisis dos estructuras: cuerpos de agua abiertos y continuaciones subsuperficiales y estructuras no inmediatamente asociadas con agua. Las estructuras que identificaron que no son inmediatamente asociadas a agua, son líneas en el paisaje observadas en imágenes de satélite y en imágenes de Google Earth. Estas estructuras coinciden con las zonas de fracturas señalizadas por INEGI, y las fracturas observadas en imágenes de satélite.

De esta manera se obtuvo la delimitación de dos tipos de acuífero cárstico, el primero que corresponde a la zona hacia la costa y el acuífero cárstico tipo uno delimitado hacia el continente.

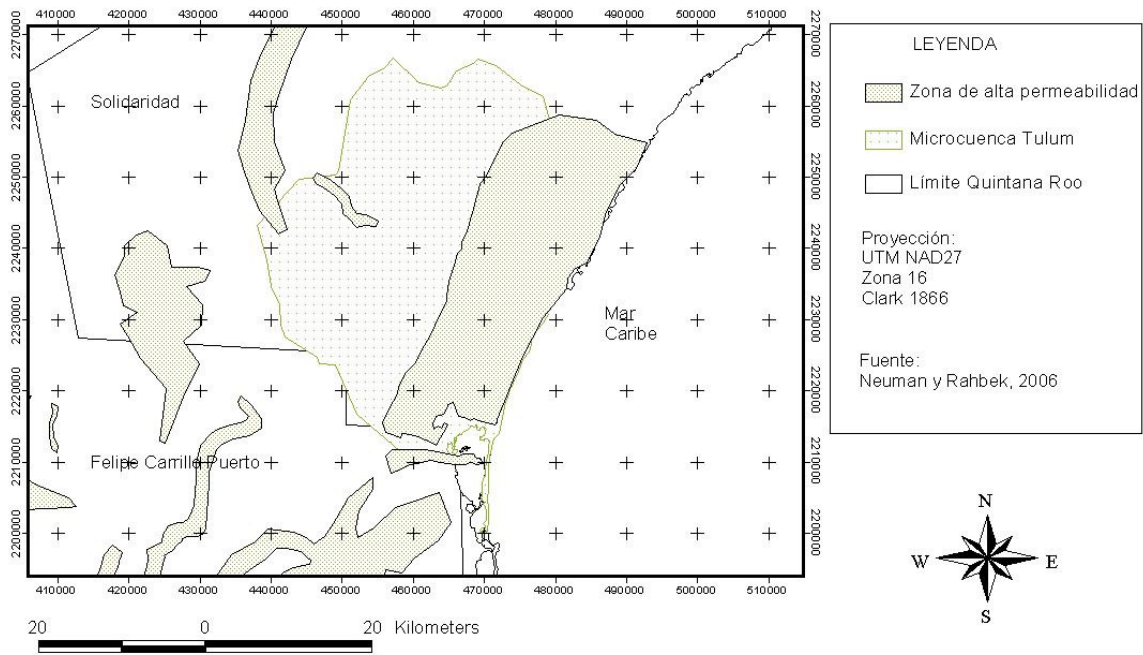


Figura 74. Zona de alta permeabilidad establecida por el análisis de Neuman y Rahbek, 2006

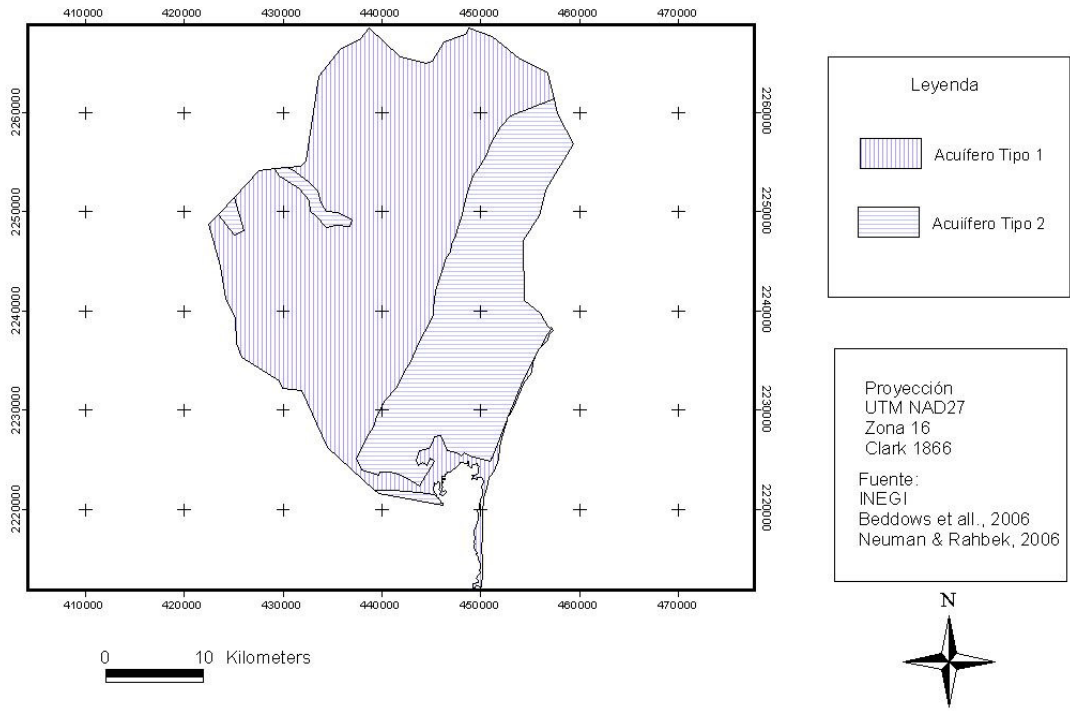


Figura 75. Delimitación del acuífero cársico tipo uno y tres en la cuenca

Aunque SINTACS utiliza los mismos siete parámetros que DRASTIC, se hacen adecuaciones en los datos base, la determinación de los rangos y la ponderaciones a cada uno de estos, para obtener una situación más acercada a la realidad del acuífero tan característico y específico de Quintana Roo. A continuación se describen las especificaciones y recomendaciones que Cucchi *et al*, (2003) hacen para cada uno de los parámetros del modelo.

6.2.3.2.1 Profundidad del lente de agua.

Para la metodología SINTACS este parámetro es disminuido de la escala original de DRASTIC con una función hiperbólica siendo 10 para aguas superficiales, cinco para aguas a 10 m, dos para aguas a 40 m y uno para aguas a 90 m.

En un sistema cárstico la superficie piezométrica no puede representarse por una superficie plana, ya que consiste de varias superficies redondeadas y la forma esta controlada por las diferente transmisividad de los drenajes con respecto al bloque menos carstificado (Cucci *et al*, 2003).

Por lo anterior para asignar los puntajes a los diferentes niveles de profundidad del agua se utilizó la gráfica descrita en el capítulo de metodología 5.2.3.2.

A diferencia de DRASTIC, en SINTACS se incluye en la capa de profundidad del lente de agua las aguas superficiales, que en este caso como cenotes y lagunas. Este parámetro pose gran impacto en la vulnerabilidad por que su valor absoluto en combinación con las características de la zona no saturada, determinan el tiempo de transporte de un fluido contaminante y la duración del proceso de atenuación en el grosor de la zona no saturada , en particular los procesos de oxidación por el O₂ atmosférico. El puntaje de SINTACS para la profundidad del lente de agua, disminuye con un aumento en esta profundidad (Civita *et al*, 2004).

6.2.3.2.2 Acción de la infiltración efectiva.

El puntaje SINTACS requiere que la precipitación efectiva sea multiplicada por un coeficiente de infiltración el cual está dado en función de la textura del suelo y el grosor (Cucchi *et al*, 2003).

Para zonas con suelos pocos profundos como es el caso de la zona de estudio, el valor de la precipitación media anual (se utilizó capa base de precipitación descrita en el capítulo 6.2.2.1) $(P - ET)$ se multiplica por el coeficiente de infiltración, siendo $I=(P- ET) \chi_r$ (Cusimano *et al*. 2004), donde P es la precipitación media anual, ET la evapotranspiración media anual y χ_r el coeficiente de infiltración. Los Coeficientes de infiltración utilizados son los descritos en la tabla 55.

Tabla 55. Coeficientes de infiltración (SCT, 2004 y Cucchi, 2003)

Descripción del suelo	Coficiente de Infiltración
Mezcla de arena y grava	2.0 - 2.5
Grava limosa y arena limosa	0.8 – 1.5
Arena limoarcillosa a arcilla arenosa	0.5 – 0.8
Arcilla orgánica e inorgánica	0.25 – 0.5
Roca desnuda o demasiado fracturada	0-0.25
Caliza	0.75- 1.0

La variación a este parámetro que Cucchi *et al*, proponen consiste en aumentar este coeficiente en 10, 20 y 30% para el tipo de acuífero uno, dos y tres respectivamente, siendo los coeficientes utilizados 0.825 para el acuífero tipo uno y 1.30 para el acuífero tipo tres. Una vez obtenida la recarga efectiva, se dio el puntaje siguiendo la definición utilizada en el método SINTACS como lo muestra la gráfica.

El rol de la infiltración efectiva es muy significativo por el acarreo de contaminantes de la superficie hacia el acuífero, pero además por su efecto de disolución, primero en el transporte a en la zona no saturada y después en la zona saturada. La infiltración directa es el único o prevaleciente componente de la recarga neta en las áreas que no hay flujo uniendo acuíferos o aguas superficiales o practicas de irrigación usando grandes volúmenes de agua (Civita *et al.*, 2004).

6.2.3.2.3 Capacidad de atenuación de la zona no saturada.

El acuífero tipo uno se comporta como un acuífero con fracturas dispersas homogéneas y por tanto, los autores Cucchi, Forti y Zini (2003), mencionan que los puntajes y pesos de SINTACS son correctos, no sucede lo mismo para el acuífero tipo tres. Entre mayor la heterogeneidad del acuífero, más rápido es le transporte en la zona no saturada, pero también el flujo turbulento en condiciones de aeración que permiten una eficiente atenuación por oxidación, al menos de algunos contaminantes. Para este parámetro se utilizó descripción litológica del mapa geológico (SARH, 1989), la textura, la composición mineral, el tamaño de grano, las presencia de fracturas y fallas y el desarrollo cárstico descrito anteriormente.

Según Beddows (2004) (en Neuman & Rahbek, 2006), la zona no saturada tiene un espesor de 10 metros a 10 km de la costa, y un espesor de 20 a 50 metros a partir de los 10 km de la costa. Para asignar los puntajes SINTACS se utilizó el siguiente esquema propuesto por la metodología de SINTACS de Civita *et al.*, (2004) asignando los puntajes como lo muestras la tabla 56.

Tabla 56. Descripción de la asignación de puntajes para la zona no saturada según las características en la cuenca

Puntaje	Zona no saturada espesor 10 m de 0 hasta los 10 km de la costa	Zona no saturada espesor 20-50 m a partir de los 10 km de la costa	Depósitos fluviales y de litoral	Calizas	Presencia de fallas	Presencia de fracturas	Presencia de ríos subterráneos
10	•			•		•	•
9	•			•			
7	•		•				
8		•		•	•	•	•
7		•	•		•	•	
6		•		•			
5		•	•				

6.2.3.2.4 Atenuación por el tipo de suelo.

Este parámetro representa la primera línea de defensa del sistema hidrogeológico, diferentes procesos importantes se llevan a cabo en el suelo que construyen a la capacidad de atenuación de un contaminante viajando al sistema hidrogeológico. El suelo es identificado como un transformador de materia y un subsistema de energía que desarrolla a través de las alteraciones físicas, químicas y biológicas de los litotipos y de la materia orgánica de la que está hecha (Civita *et al.*, 2004). Como se describió anteriormente, los suelos predominantes son arcillosos, y encontrando limos y arenas en la costa. El puntaje correspondiente a estos tipos de suelo fue dos, cinco y nueve respectivamente.

6.2.3.2.5 Características hidrogeológicas del acuífero.

Cucchi, Forti y Zini, (2003), describen que los rangos establecidos en SINTACS para este parámetro no necesitan modificación.

Al igual que en el modelo DRASTIC, el puntaje asignado para calizas, depósitos fluviales y de litoral consistentes en arenas y arcillas calcáreas, fue 10, nueve y ocho respectivamente.

6.2.3.2.6 Rango de conductividad hidráulica del acuífero.

Este parámetro representa la capacidad del agua subterránea para moverse dentro de la zona saturada, de esta manera, es el potencial de movilidad de un hidro vector contaminante el cual tiene una viscosidad y densidad casi igual al agua subterránea (Civita, *et al*, 2004).

Los rangos establecidos por SINTACS van desde E-10 hasta E-1, por lo que según Cucchi, Forti y Zini (2003), no es necesario modificar los rangos y puntajes a asignar, si no escoger el valor correcto para cada una de las zonas del área de estudio. En este caso, los valores asignados para la porción del acuífero tipo uno puede ser un valor promedio aun encontrando una pequeña diferencia entre la homogeneidad de los drenes y las zonas cársticas poco desarrolladas. A diferencia con el acuífero tipo tres, donde la contribución al acuífero puede ser a veces, casi por completo confinado a los drenes y el intercambio entre bloques y los drenes solo ocurren en la zona no saturada y la zona epifreática. En este caso lo necesario es diferenciar los drenes de los bloques, asignándole a cada uno el valor de conductividad hidráulica pertinente (Cucchi, *et al*, 2003). Desafortunadamente no se tiene los valores de conductividad hidráulica para cada zona de la cuenca, por lo que se decidió evaluar los siguientes posibles escenarios

Tabla 57. Puntaje asignado a las diferentes características presentes en la cuenca para la conductividad hidráulica

	Presencia de fallas	Presencia fracturas	Presencia ríos subter.	Puntaje
Acuífero tipo tres	•	•	•	10
	•	•		9
	•			9
				9
Acuífero tipo uno	Promedio			9

Lo anterior debido a que los valores reportados para esta zona se encuentran en el rango de E^{-2} y E^{-1} , como lo muestra la tabla 50, y tomando en cuenta los rangos que la metodología propone.

6.2.3.2.7 El papel hidrológico de la pendiente topográfica.

Es un factor importante en la evaluación de la vulnerabilidad por que determina la cantidad de escurrimiento superficial, la velocidad de desplazamiento del agua o un fluido (pudiendo ser un contaminante) que se produce. Un puntaje elevado es asignado a pendientes suaves, por que el contaminante puede dispersarse menos por la acción de la gravedad en la superficie o aun detener su desplazamiento favoreciendo la precolación. La pendiente es un factor determinado por el tipo de suelo y su grosor y puede indirectamente determinar la atenuación potencial del sistema hidrogeológico (Civita *et al*, 2004).

En la propuesta de Cucchi, Forti y Zini (2003), señalan asignar un valor de 10 a las depresiones cársticas y alrededor de los cenotes sin considerar su pendiente actual y propone considerar un rango de 0 a 200% de pendiente para asignar los puntajes. El área de estudio tiene una pendiente menor al dos por ciento siendo los puntajes correspondientes al rango de 9.5 a 10.

6.2.3.2.8 Resultados de vulnerabilidad del acuífero modelo SINTACS

Cada uno de los parámetros fue multiplicado por un peso, establecido en la metodología para ambientes cársticos, la cual se describe en la tabla 58 y en la figura 76.

Tabla 58. Multiplicadores de peso utilizados para cada parámetro SINTACS (Civita et al, 2004 y Cucchi *et al*, 2003)

Parámetro	SINTACS KARST	Acuífero tipo uno	Acuífero tipo tres
S	2	3	10
I	5	5	5
N	1	1	1
T	3	3	3
A	5	5	5
C	5	5	5
S	5	5	5

Este es un segundo ejercicio para tratar de determinar la vulnerabilidad del acuífero, con el modelo SINTACS, se encontró que el acuífero es extremadamente vulnerable en la franja de los 10 primeros kilómetros de la costa hacia el centro de la península por las características geohidrológicas descritas anteriormente y resulta de vulnerabilidad alta el resto del territorio de la cuenca. Para la evaluación del resultado del modelo SINTACS se debe considerar que para algunos parámetros como la conductividad hidráulica no se tiene la información necesaria y en algunos casos es información insuficiente, pero para efectos de este trabajo se puede concluir que la vulnerabilidad del acuífero aumenta conforme uno se acerca a la costa y es de gran importancia por que justo el desarrollo en la cuenca se esta dando y se dará en esta zona.

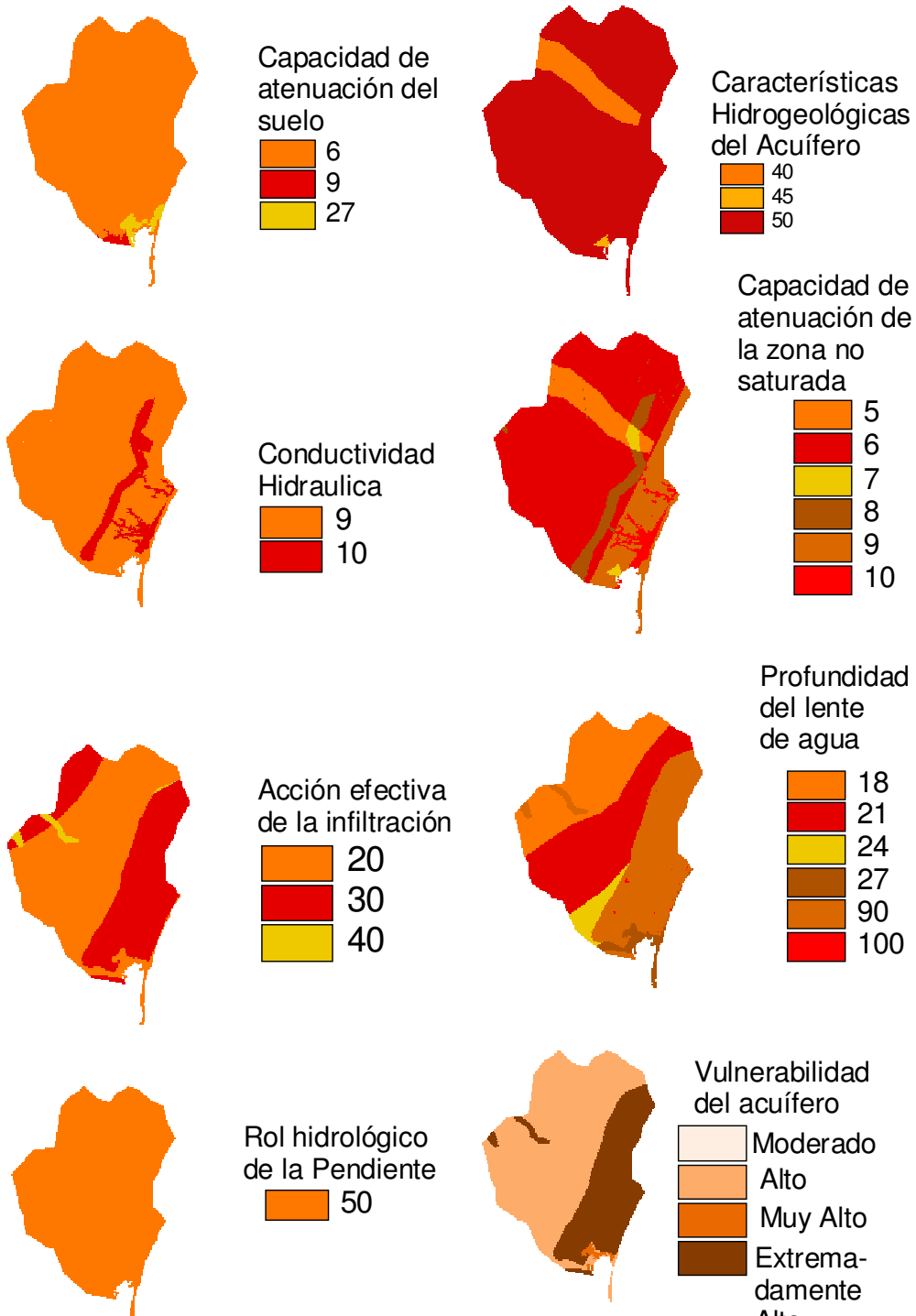


Figura 76. Mapas paramétricos del modelo SINTACS

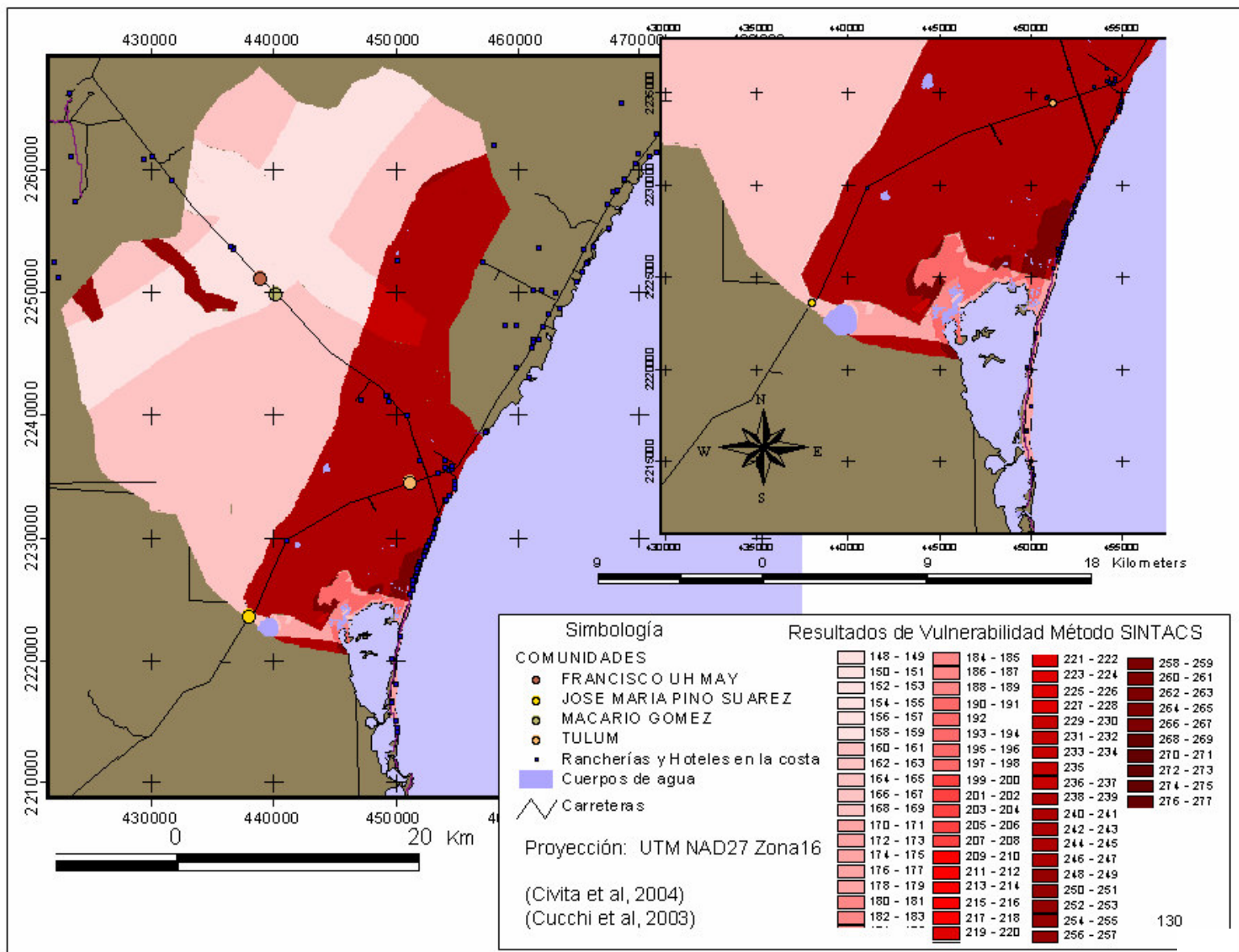


Figura 77. Resultados de método SINTACS

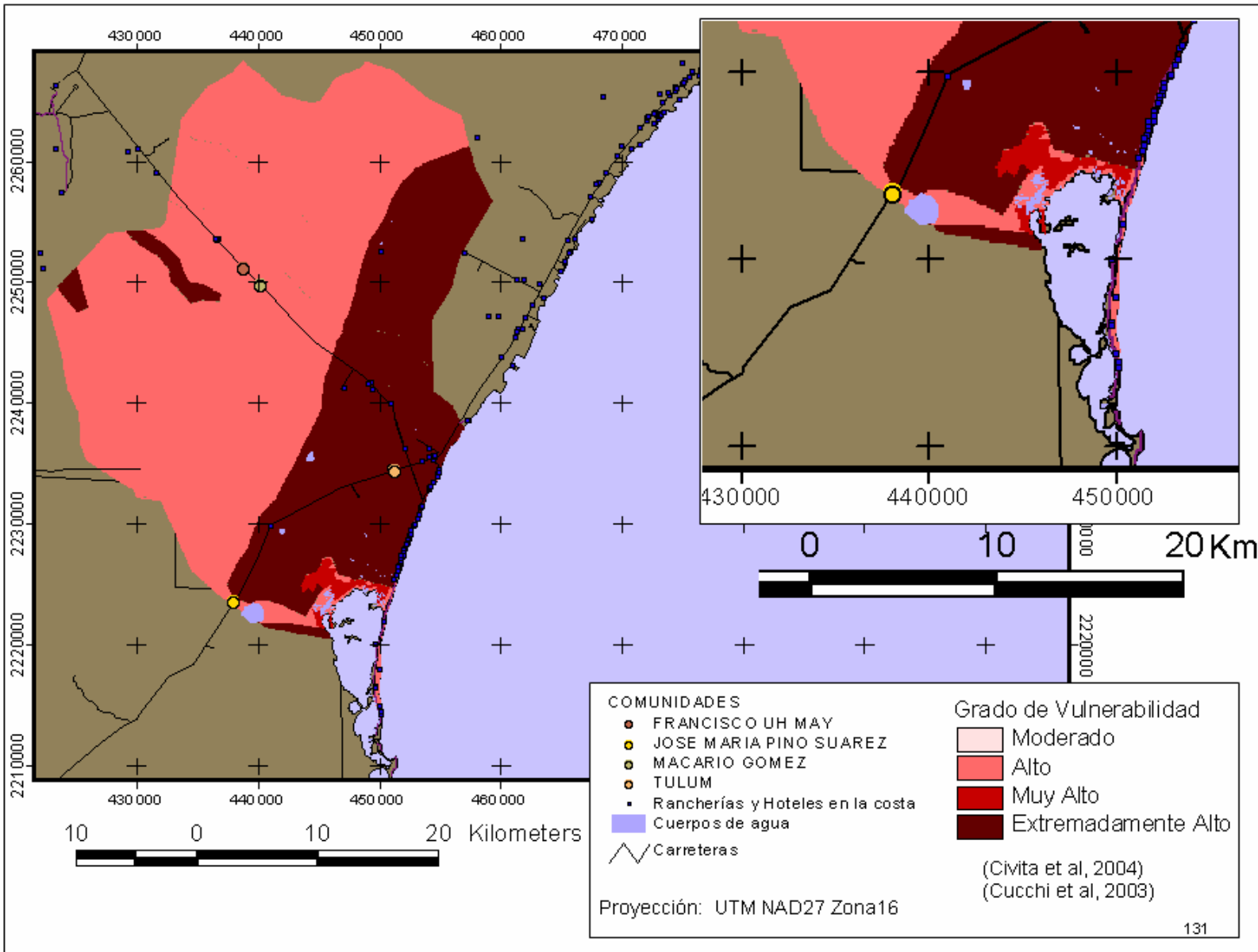


Figura 78. Grado de Vulnerabilidad Método SINTACS

En la figura 77 se muestran los resultados de vulnerabilidad del acuífero con el puntaje que arroja el modelo (en una escala de 148 a 277) y en la figura 78, se presentan los resultados agrupados en cuatro grados de vulnerabilidad siendo moderado, alto, muy alto y extremadamente alto.

6.2.4 Calidad del Agua

Se analizaron los datos de calidad del agua de los pozos de extracción de agua potable para el municipio de solidaridad, (datos del 2005), proporcionados por, el Departamento de control de calidad del agua, Sistema Operativo Solidaridad, de CAPA. A continuación se describen las características físicas, químicas y bacteriológicas de los pozos de extracción de agua potable para las comunidades de la cuenca.

Tabla 59. Pozos de extracción de agua para uso potable (CAPA, 2006)

CLAVE INEGI	LOCALIDAD	PROFUNDIDAD POZO (mts.)
230080089	FRANCISCO UH MAY	25.00
230080135	JOSE MARIA PINO SUAREZ	7.00
230080153	MACARIO GOMEZ	30.00
230080323	TULUM POZO #1	17.00
	TULUM POZO #2	20.00
	TULUM POZO #3	17.00
	TULUM POZO #4	
	TULUM POZO #5	
	TULUM POZO #6	

Las características físicas están determinadas por el color, sabor, turbidez, conductividad eléctrica y temperatura. La tabla 60 muestra las características físicas del agua en relación a los límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial mexicana (NOM-127-SSA1-1994), los que sobrepasan el límite máximo permisible están marcado en color rojo. El parámetro de unidades de color para el pozo cuatro de la localidad de Tulum sobrepasa lo permitido. Todos los demás parámetros se encuentran dentro del rango permitido.

Tabla 60. Características físicas del agua de los pozos de extracción para uso potable de la cuenca (CAPA, 2006)

LOCALIDAD	Color (U Pt-Co)	Olor (Índice de Intensidad)	Sabor	Turbiedad (UTN)	Conductividad Eléctrica (μ siems/cm)	Temp. ($^{\circ}$ C)
NOM-127-SSA1-1994	20.0	Agradable	Agradable	5.0	No especifica	No especifica
Francisco Uh May	0.0	Ausente	Característico	1.1	1,446	26.5
J. Ma. Pino Suárez	0.0	Ausente	Característico	0.0	1,604	30.4
Macario Gómez	0.0	Ausente	Característico	0.0	1,526	
Tulum Pozo #1					2,290	26.2
Tulum Pozo #2					1,326	27.6
Tulum Pozo #3					3,030	26.5
Tulum Pozo #4	30.0	1	Característico	2.0	628	27.0
Tulum Pozo #5	2.5	1	Característico	1.0	2,091	27.0
Tulum Pozo #6	5.0	1	Característico	2.0	2,290	27.0

Las características químicas del agua están determinadas por los parámetros evaluados descritos en la tabla 61. Los parámetros químicos que se encuentran superiores a los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 son los cloruros en el pozo de José Ma. Pino Suárez, y los pozos uno, dos, tres, cinco y seis de Tulum. Los pozos cinco y seis de Tulum sobrepasan los límites máximos permisibles de sólidos disueltos por 359 y 488 mg/l. Otro parámetro que sobrepasa la norma en los pozos uno, tres, cinco y seis de Tulum es la dureza total. Las concentraciones de sodio en el pozo cinco y seis de Tulum sobrepasan la norma también.

Tabla 61. Características Químicas del agua de los pozos de la cuenca (CAPA, 2006)

Parámetro	NOM	Fco. Uh May	José Ma. Pino Suárez	Macario Gómez	Tulum POZO 1	Tulum POZO 2	Tulum POZO 3	Tulum POZO 4	Tulum POZO 5	Tulum POZO 6
Cloruros (mg/L)	250	247.50	280.19	250.70	489.50	265.00	749.00	116.50	446.50	509.50
Nitratos (NO ₃ como N) (mg/L)	10	1.10	0.80	0.90	4.70	2.85	4.40	0.78	0.78	0.86
Nitritos (NO ₂ como N) (mg/L)	0.05	0	0.01	0.01				0.01	0.01	0.01
Sulfatos (como SO ₄) (mg/L)	400	7.48	37.64	36.80	63.70	24.80	54.20	10.50	48.39	50.21
Fluoruros (como F) (mg/L)	1.5	0.01	0.18	0.18				0.01	0.01	0.01
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	0.5	0	0	0				0.25	0	0
PH (Uds. pH)	6.5-8.5	7.08	7.42	7.22	7.01	7.13	7.08	8.09	7.65	7.68
Alcalinidad Total (mg/L)		420.30			296	240	295	247.2	420.3	395.6
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	1000	972.4	972.5	857.5				408.2	1,359.2	1,488.5
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	500	476.19	484.08	484.08	524	376.00	604	255.24	552.38	523.81
Dureza de Calcio (mg/L CaCO ₃)		323.81			334.00	248.00	344.00	156.19	323.81	295.24
Dureza de Magnesio (mg/L CaCO ₃)		152.38			190.00	128.00	260.00	99.05	228.57	228.57
Calcio (mg/l)		129.52						62.48	129.52	118.10
Sodio (mg/l)	200	154.69						72.81	279.06	318.44
Magnesio (mg/l)		36.92						24.00	55.38	55.38
Potasio (mg/l)		2.00						1.50	3.50	3.50
Carbonatos (mg/l)		0						9.03	22.63	22.63
Bicarbonatos (mg/l)		512.77						301.58	512.77	482.63
Manganeso	0.15		0.06	0.01						
Salinidad (o/oo)		0.87			1.38	0.80	1.83	0.38	1.26	1.38

La salinidad de todos los pozos se encuentra en el rango de 0.8 a 1.38 siendo consideradas como agua salobre oligohalina (ver tabla 62)

Tabla 62. Clasificación de los cuerpos de agua en función de la salinidad(UPRM, 2007)

SALINIDAD (‰)	Tipo de agua
0 - 0.5	agua dulce
0.5 - 3.0	agua salobre oligohalina
3.0 - 10	agua salobre mesohalina
10 - 17	agua salobre polihalina
17 - 30	agua de mar oligohalina
30 - 34	agua de mar mesohalina
34 - 38	agua de mar polihalina
38 - 150	salmuera
> 150	hipersalina

En cuanto a las características bacteriológicas del agua, los datos de calidad del agua de la CAPA muestran que los pozos de Francisco Uh May, José Ma. Morelos y los pozos cuatro, cinco y seis de Tulum presentan contaminación por coliformes fecales.

Tabla 63. Características bacteriológicas del agua de los pozos de la cuenca (CAPA, 2006)

LOCALIDAD	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
(NOM-127 , 1994)	Ausencia	Ausencia
FRANCISCO UH MAY	3	3
JOSE MARIA PINO SUAREZ	23	4
MACARIO GOMEZ	0	0
TULUM POZO #1	3	0
TULUM POZO #2	6	0
TULUM POZO #3	5	0
TULUM POZO #4	3	3
TULUM POZO #5	3	3
TULUM POZO #6	3	3

Utilizando los datos de calidad del agua descritos anteriormente, se calculó el Índice de calidad de agua, resultando de calidad aceptable para uso potable el agua de los pozos de las cuatro comunidades de la cuenca, encontrando los

valores en el rango de 81 a 89.

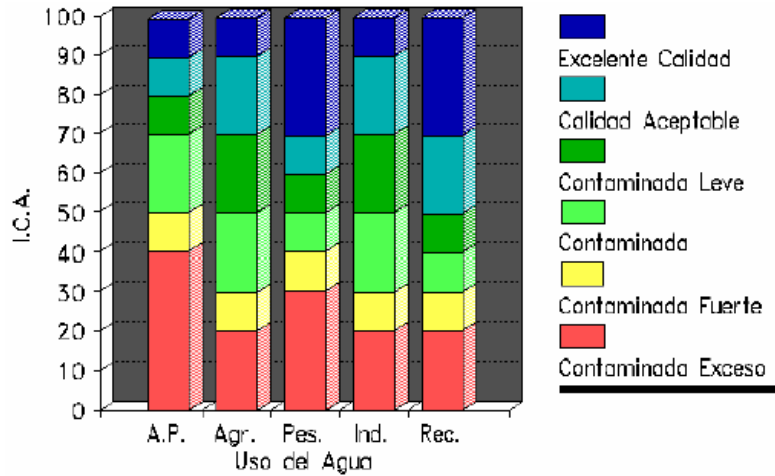


Figura 79. Rangos de calidad del agua ICA según su uso (Leon sin año)

Tabla 64. Resultados ICA para la cuenca Tulum

LOCALIDAD	No de parámetros	INDICE ICA
FRANCISCO UH MAY	6	83
JOSE MARIA PINO SUAREZ	6	81
MACARIO GOMEZ	5	86
Tulum POZO #1	4	88
TULUM POZO #2	4	93
TULUM POZO #3	4	89
TULUM POZO #4	6	84
TULUM POZO #5	6	83
TULUM POZO #6	6	83

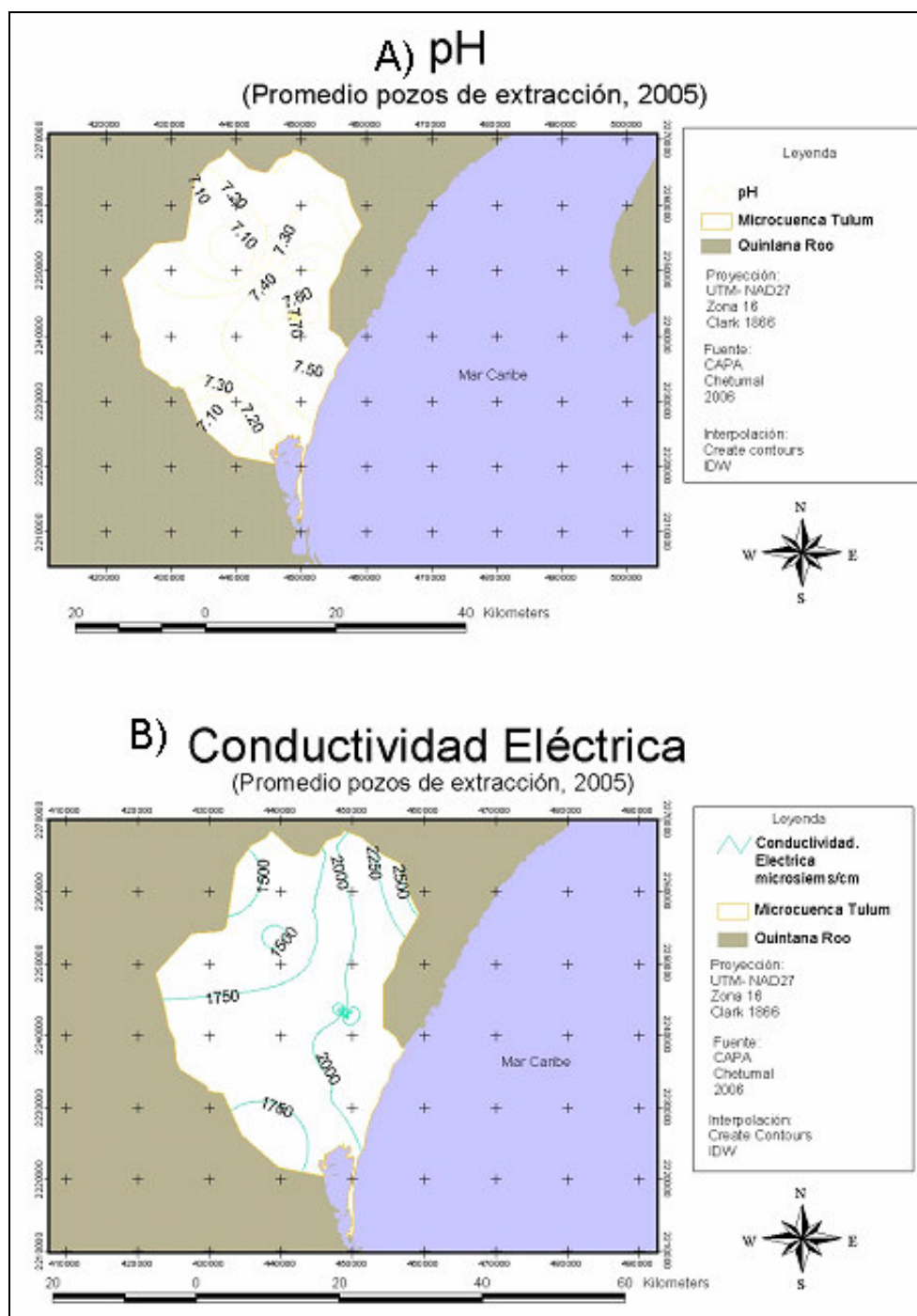
En relación al valor numérico del ICA, este no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con la idea de tener criterios generales, a continuación se presentan algunos lineamientos arrojados por el panel de expertos, Dinius (1987). Asociado al valor numérico del ICA se indican las medidas aconsejables para su uso como agua potable (León, sin año) en la tabla 65 siendo agua dudosa para su consumo sin purificación.

Tabla 65. Medidas aconsejables para el uso del agua consumo humano según el rango ICA obtenido (León sin año)

RANGO ICA	Estado	Medida aconsejable para su uso como agua potable
		No requiere purificación para el consumo
90		Requiere purificación menor
80		Dudoso su consumo sin purificación
70		Tratamiento de potabilización indispensable
50		Dudoso para consumo
40		Inaceptable
30		para su
20		consumo

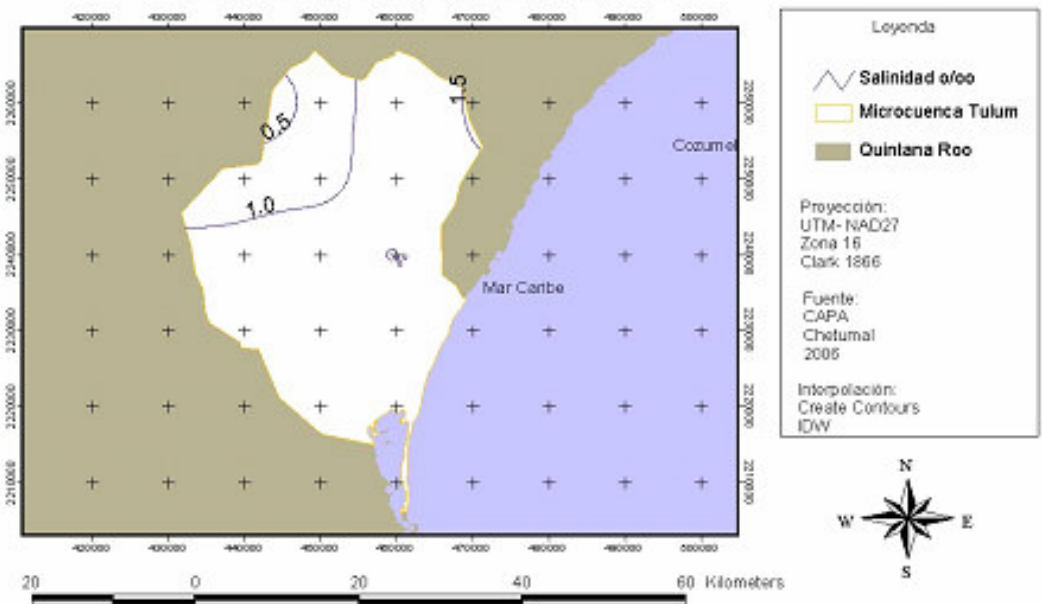
A continuación se muestra la isolíneas para diferentes parámetros químicos y físicos interpolados en base a los datos de calidad de agua de la CAPA (2006), para el año 2005.

Figura 80. Características físico-químicas representadas por isolíneas (CAPA, 2005) A) pH, B) Conductividad eléctrica, C) Salinidad, D) Temperatura, E) Sólidos disueltos totales, F) Turbiedad, G) Sodio, H) Sulfatos, I) Potasio, J) Nitrógeno Amoniacal, K) Nitritos, L) Nitratos.



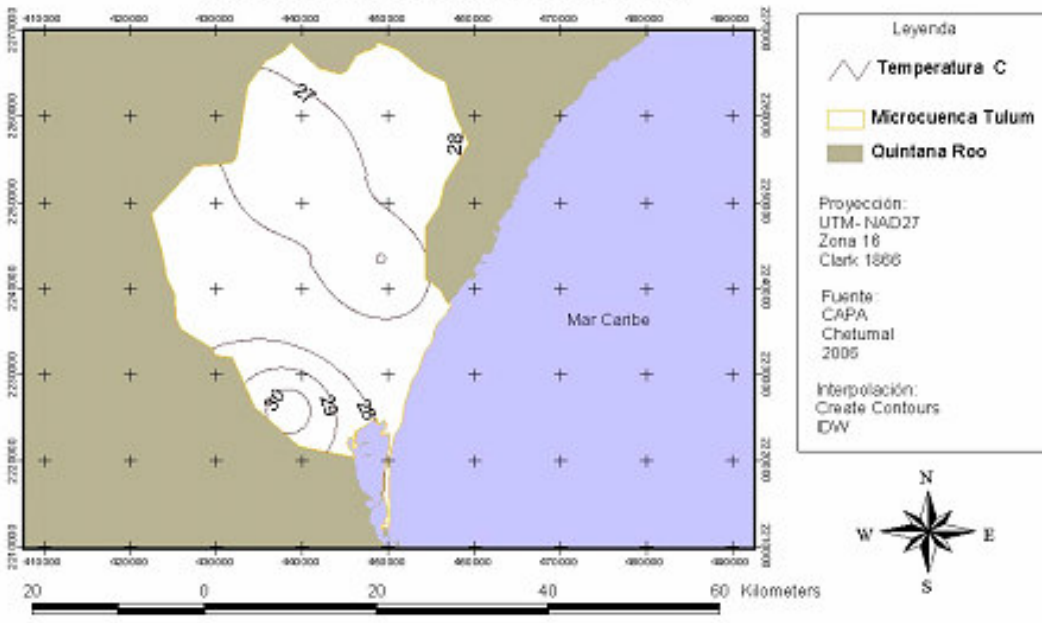
C) Salinidad

(Promedio pozos de extracción, 2005)

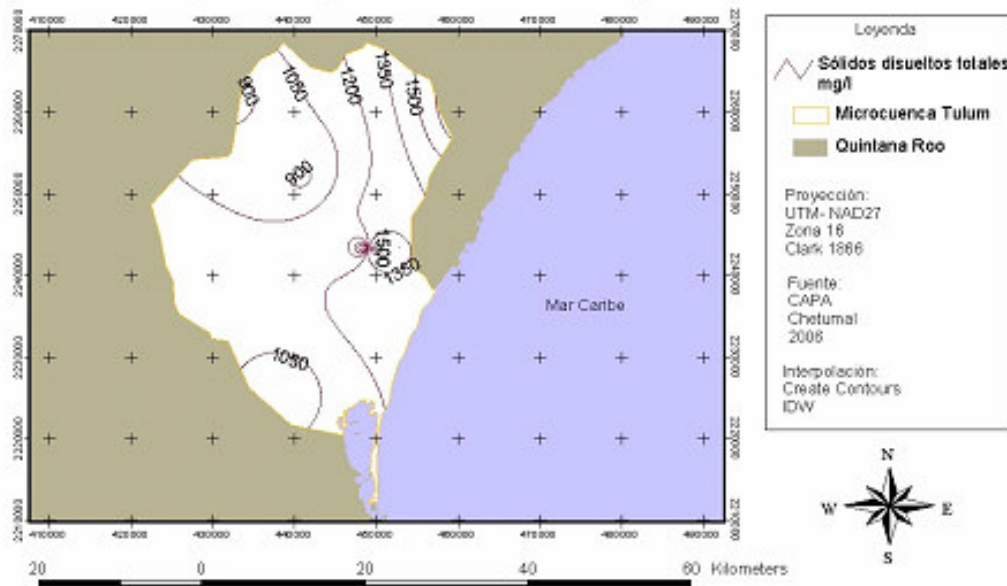


D) Temperatura

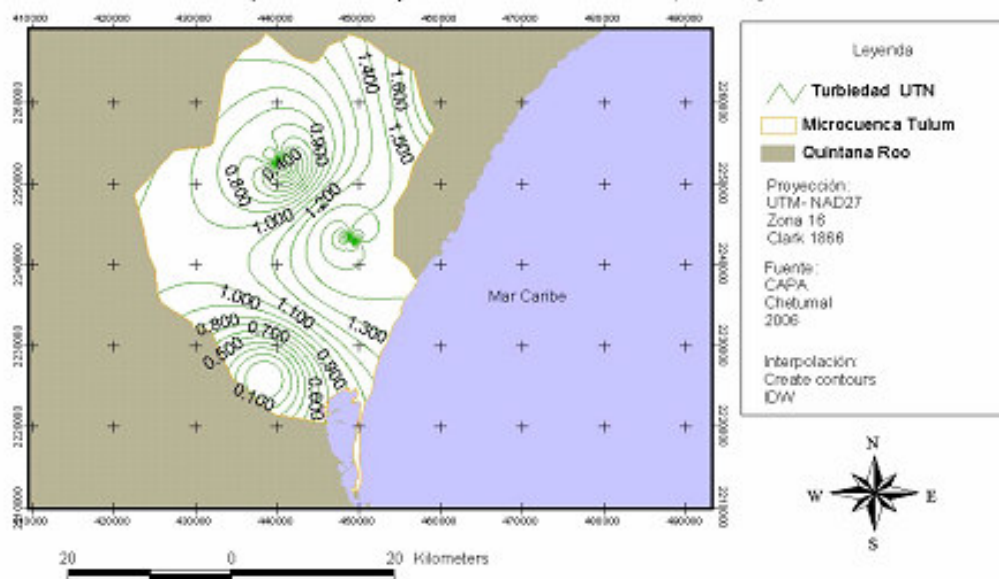
(Promedio pozos de extracción, 2005)

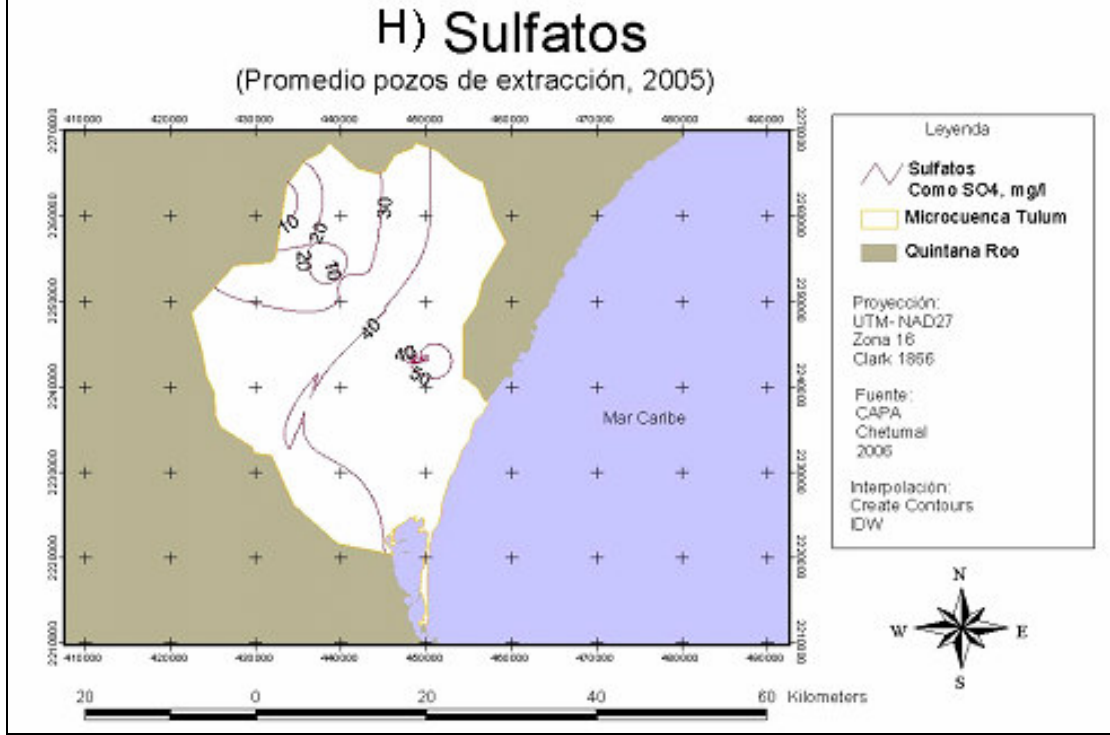
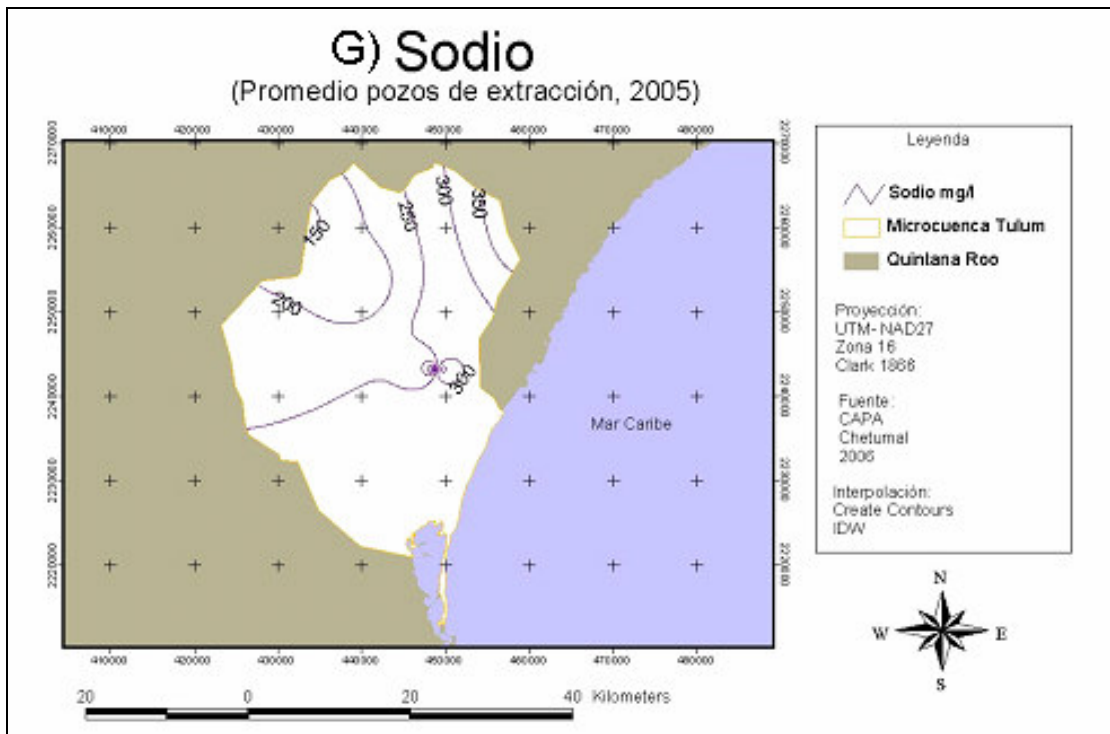


E) Sólidos Disueltos Totales (Promedio pozos de extracción, 2005)



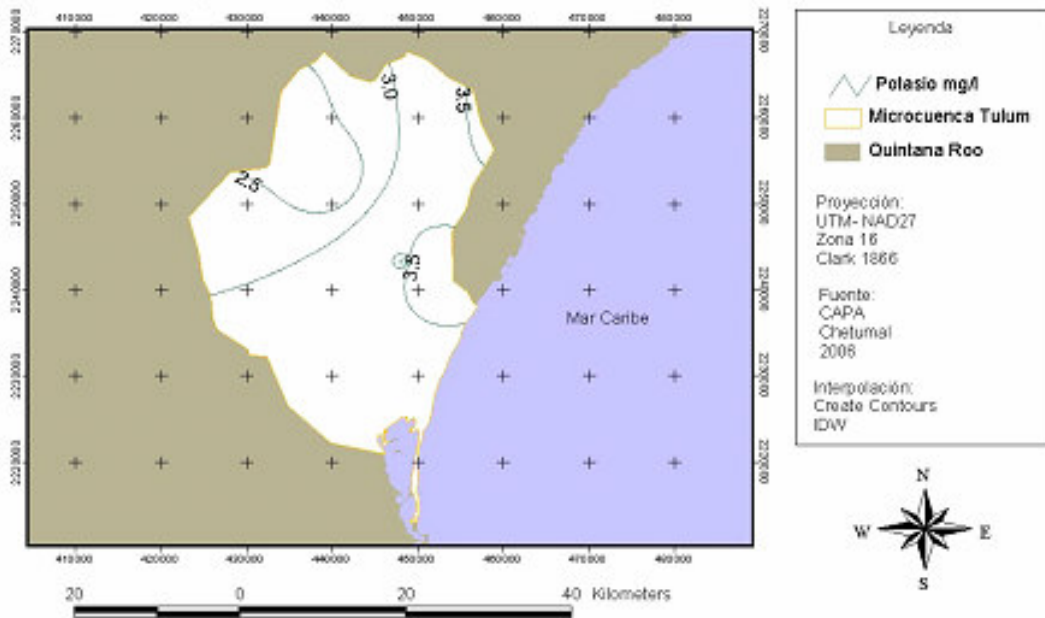
F) Turbiedad (Promedio pozos de extracción, 2005)





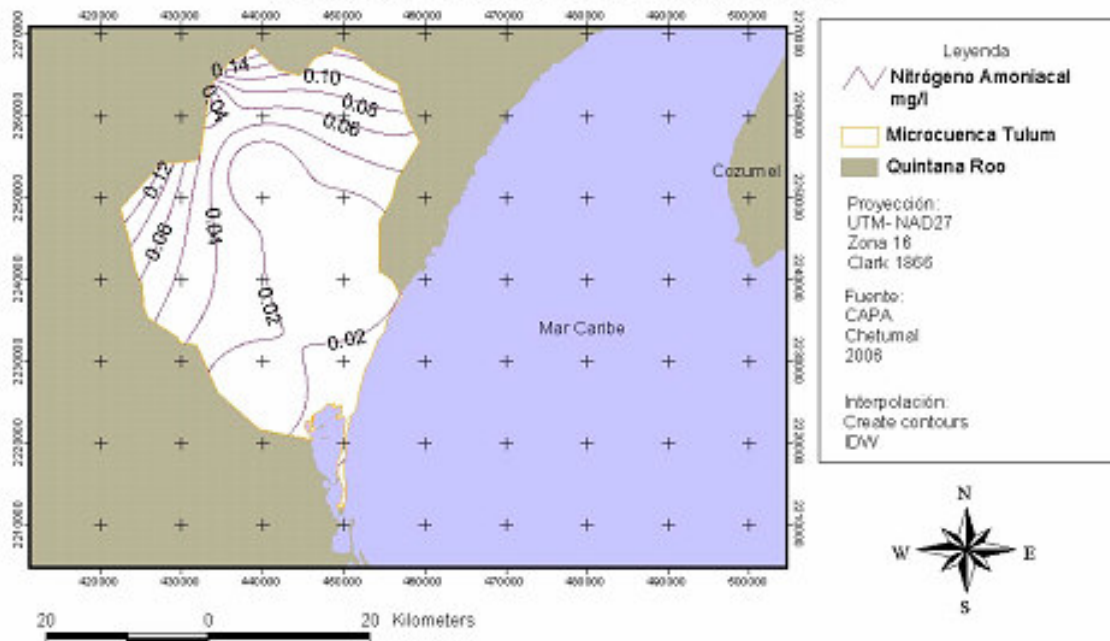
I) Potasio

(Promedio pozos de extracción, 2005)



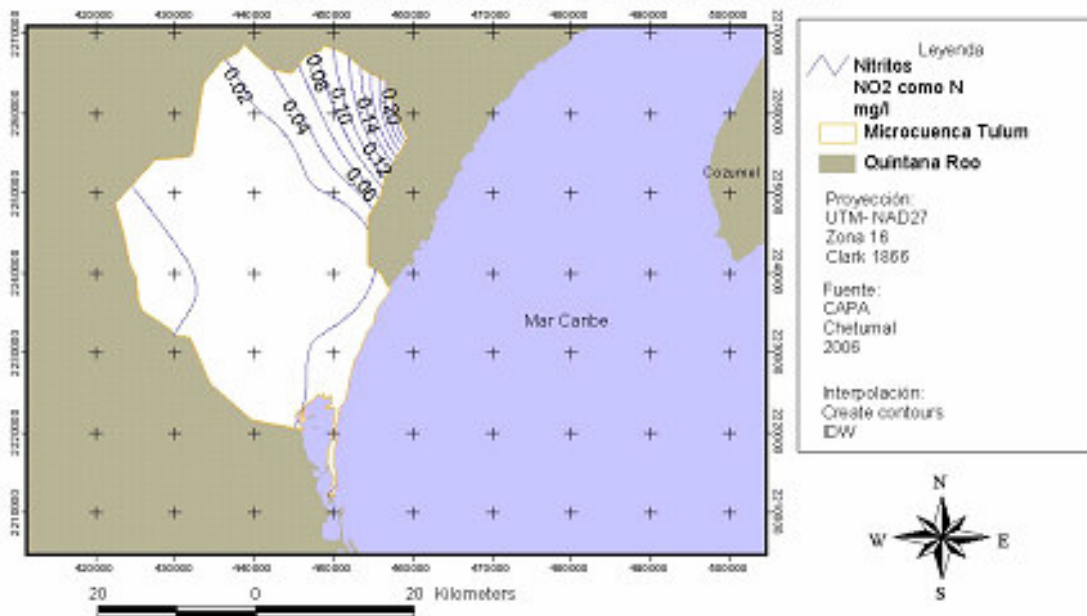
J) Nitrógeno Amoniacal

(Promedio pozos de extracción, 2005)



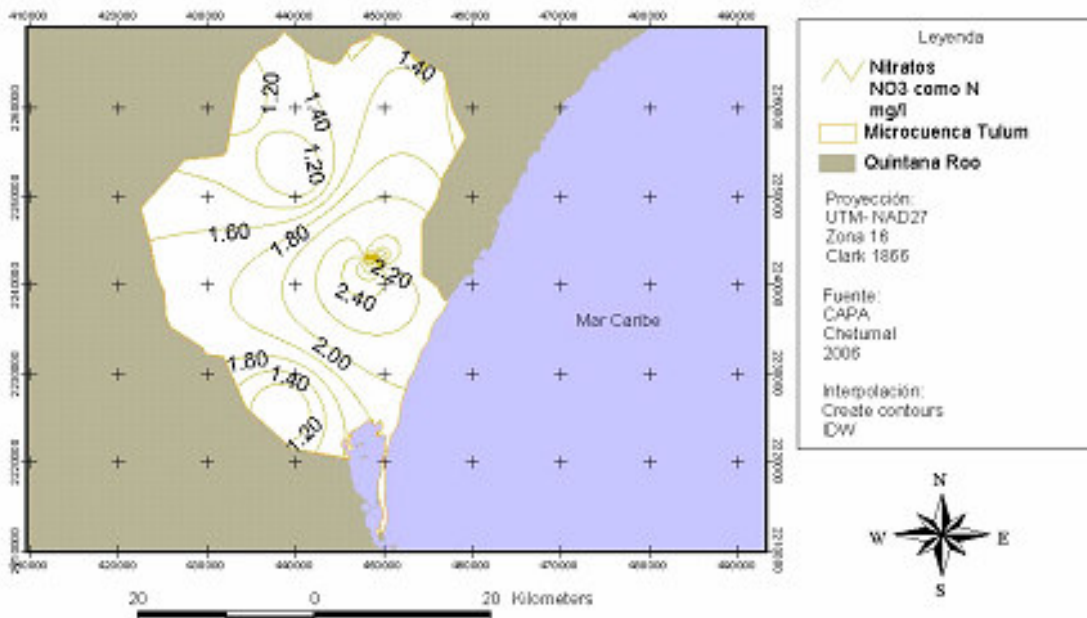
K) Nitritos

(Promedio pozos de extracción, 2005)



L) Nitratos

(Promedio pozos de extracción, 2005)



6.3 Diagnóstico de la Problemática

Tabla 66. Diagnóstico de la problemática ambiental y socioeconómica de la cuenca

AMBIENTAL				
Problemática	Causa	Efecto	Alternativas de solución	Instituciones
Deforestación	Ganadería de tipo extensivo, el ganado se alimenta de especies silvestres	Pérdidas de suelos, erosión, pérdida de cobertura vegetal y su fauna asociada	Capacitación e implementación de practicas agrosilvopastoriles, rotación de potreros y construcción de cercos Reforestación con especies nativas	CONAFOR SAGARPA
Contaminación del acuífero con vulnerabilidad de alta a extremadamente alta a la contaminación	Inexistencia de sistemas de saneamiento en las comunidades a Inexistencia de instalaciones adecuadas para la disposición de residuos sólidos y producción de lixiviados.	Descargas con altos contenidos de materia orgánica y fosfatos en cuerpos de agua y ríos subterráneos alteran la calidad del agua Extracción de agua dulce, descargas de aguas residuales, sirven como tiraderos de basura, alto riesgo a la salud humana por consumir agua contaminada	Implementación de alternativas de saneamiento a nivel hogar en comunidades rurales como uso de biofiltros, reuso de agua grises e implementación de baños secos composteros Establecimiento de un programa de separación de basura y elaboración de composta, promover el consumo de productos locales disminuyendo el uso de empaques. Establecer centros de acopio en las comunidades, y buscar mercados para los residuos separados para reciclarlos. Establecer los lineamientos jurídicos para la regulación del aprovechamiento y explotación de cenotes	CAPA, CNA CAPA, CNA
Falta de marco normativo para el aprovechamiento y explotación de cenotes	No existe regulación específica para este tipo de ecosistemas por ser característicos y únicos de la zona			
Fenómenos meteorológicos Huracanes Incendios Erosión de la costa	Alta temperatura agua de mar Después de huracanes la vegetación que es arrancada se seca y es un peligro potencial de incendio Construcciones mal ubicadas en la duna costera, eliminación de la vegetación de duna costera que retiene sedimento Obstrucción de flujos naturales del agua	Inundaciones y destrucción de servicios de luz agua y falta de alimentos, obstrucción de vías de comunicación y destrucción de viviendas Derrumbe de construcciones en la costa y disminución del ancho de playas	Mayor conciencia y capacitación sobre medidas que se deben de tomar antes de los huracanes Implementación de sistemas de captación de agua de lluvia para que no sufran escasez de este recurso durante estos eventos Reforestación de vegetación de duna costera, construcción de canales para no interrumpir flujos naturales del agua por construcción de infraestructura Concienciar población para evitar incendios, construcción de zanjas y aprovechamiento de la vegetación seca	SAGARPA CONAFOR SEMARNAT
Intrusión salina	Explotación del acuífero	Pérdida de la cuna de agua dulce e intrusión de agua salada	Abastecimiento alternativo de agua , captación de agua de lluvia, reuso de aguas grises	CAPA, CNA, Asociaciones civiles

ECONOMICO				
Problemática	Causa	Efecto	Alternativa de solución	Instituciones
Agrícola Suelos inadecuados	Suelos poco fértiles con alta pedregosidad y muy delgados, que impiden el desarrollo de actividades agrícolas con alta productividad y rentables.	Agricultura es mas bien una actividad de subsistencia y no una alternativa económica	Elaborar estudios de fertilidad y aptitud del suelo Implementar programas de capacitación y asistencia técnica Mecanización de suelos	
Falta de Tecnología agrícola	Sistemas de producción tradicionales con poca tecnificada y poco rentable		Promoción de composta para mejorar los suelos y utilización de productos de los baños secos para mejorar suelos de cultivo en traspatio	
Falta de alternativas productivas	Presión sobre el suelo por crecimiento poblacional y sus pocas alternativas productivas.	Baja productividad de cultivo	Capacitación para implementar sistemas sustentables agrícolas	
Pérdidas económicas en la comercialización de productos	Nula transferencia de tecnología al campo Falta de capacitación y asistencia técnica Monopolio en el mercado de productos agrícola de interés comercial Bajo precio de los productos agropecuarios Falta de organización para la comercialización	Abandono del campo y migración	Asegurar centros fijos de comercialización Creación de centros de acopio Dar valor agregado a la producción	CONAFOR SAGARPA Secretaría de economía
Ganadera Suelos inadecuados, falta de tecnología	Asociado a los problemas de la agricultura, resulta complicado establecer potreros	Actividad casi nula, tiene mejores resultados criando ganado de traspatio	Capacitación técnicas agrosilvopastoriles, rotación de potreros	SAGARPA
Turismo Imposibilidad para despegar proyectos ecoturísticos	Inexistencia de planes integrales para el desarrollo turístico en la zona rural de la cuenca	Desesperación de pobladores locales por respuestas a los proyectos que se han implementado Malas experiencias de los pobladores con agentes externos que han promovido la actividad	Plan integral de desarrollo turístico sostenible de la zona rural de la cuenca	Secretaría de turismo Secretaría de economía
Crecimiento de centros turísticos en la costa	Desarrollo acelerado de turismo en la Riviera Maya	Incremento de las poblaciones asociadas sin planeación y falta de servicios, explotación de recursos naturales y modificación la costa	Programa de desarrollo urbano de Tulum PDUT respetando densidades bajas y tomando en cuenta el sistema hidrológico subterráneo de la zona	Municipio de Solidaridad

SOCIAL					
Problemática	Causa	Efecto	Alternativas de solución	Instituciones	
Crecimiento Urbano Falta de servicios Drenaje, Alumbrado publico Deficiente servicio de salud Falta de infraestructura educativa Distribución de agua potable irregular Falta de Pavimentación	Rápido desarrollo turístico de la Riviera Maya Falta de planeación al desarrollo Falta infraestructura y atención médica profesional y permanente en las comunidades Numero de estudiantes en la cuenca para el nivel medio superior Bajo rendimiento educativo: mala alimentación de los alumnos sobre todo los que se trasladan desde otro lugar Fallas en el funcionamiento de las bombas, mal manejo de las mismas, falta de combustible para su funcionamiento, no está completa la red de distribución de agua El municipio no ha realizado la obra de pavimentación Efectos de la precipitación pluvial y el transito vehicular	Degradación de los recursos naturales por falta de servicios Marginación alta en comunidades, inseguridad de salud y saneamiento Obstrucción de las vías de comunicación por inundaciones, transito para peatones difícil Caminos de acceso en mal estado permanente	Programa de desarrollo urbano de Tulum PDUT respetando densidades bajas y tomando en cuenta el sistema hidrológico subterráneo Dotación de servicios a las comunidades, implementación de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales domésticas como biofiltros, humedales artificiales, promoción utilización de baños secos Construcción de centros de salud y aumentar la atención médica profesional Construcción de desayunador , albergue o adquisición de transporte para estudiantes Adopción de técnicas alternativas de captación de agua de lluvia , no requieren sistema de bombeo, dotación de cisternas para almacenamiento de agua, sobre todo para eventos de huracanes Construcción , rehabilitación y mantenimiento periódico de caminos	Municipio de Solidaridad	Municipio de Solidaridad
Falta de apoyo para el desarrollo regional	Falta de estudios específicos sobre necesidades locales Falta de apoyos orientados hacia la problemática local Falta de esquemas de desarrollo e integración regional de los programas	Nulo o poco conocimiento del potencial productivo y forma integrarlo al desarrollo regional	Elaboración de estudios específicos y planes de desarrollo desde lo local hasta lo regional	SEDESOL	SEDESOL
Alternativas de empleo no agrop.	Falta de capital para invertir	Migración	Financiamiento para la instalación de un taller de carpintería y uno de costura	SEDESOL	SEDESOL
Población en edad productiva concentrada en el sector primario en la zona rural de la cuenca	Falta de diversificación productiva hacia los sectores secundario y terciario Desconocimiento de otras alternativas de aprovechamiento de sus recursos	Migración	Análisis de las capacidades productivas para determinar proyectos que agreguen valor a los productos del campo, Mejorar las condiciones de la infraestructura y servicios básicos, Programa de capacitación sobre formas de aprovechamiento tales como silvicultura , UMAs ecoturismo	SEDESOL	SEDESOL
Incremento anual en los niveles de emigración	Inexistencia de alternativas productivas para jóvenes egresados de nivel medio y medio superior Poca o nula existencia de fuentes de empleo locales	Incremento de cinturones de pobreza en los centros urbanos de población	Identificación de actividades alternas y complementarias implementación de apoyos para alumnos destacados de las localidades para continuar sus estudios	SEDESOL	SEDESOL

6.4 Evaluación de la pertinencia de los elementos de la gestión integrada de cuencas para Quintana Roo

A continuación se describen los elementos que forman parte de la gestión integrada de cuencas y la aplicabilidad de cada uno de ellos a las condiciones existentes de Quintana Roo en base a la experiencia obtenida al elaborar este trabajo.

6.4.1 Delimitación de la microcuenca

6.4.1.1 Descripción

La delimitación de microcuencas o cuencas se hace a partir de un modelo digital de elevación (MDE) evaluando los parteaguas y escurrimientos superficiales principales que van conectados a un punto de salida. Existen diferentes esfuerzos de delimitación de cuencas y microcuencas para México los cuales incluyen la Península de Yucatán, como la delimitación elaborada por la Universidad Autónoma de Querétaro, y la realizada por el ICRAN en el estudio de cuencas para la zona del arrecife mesoamericano (Figura 81)

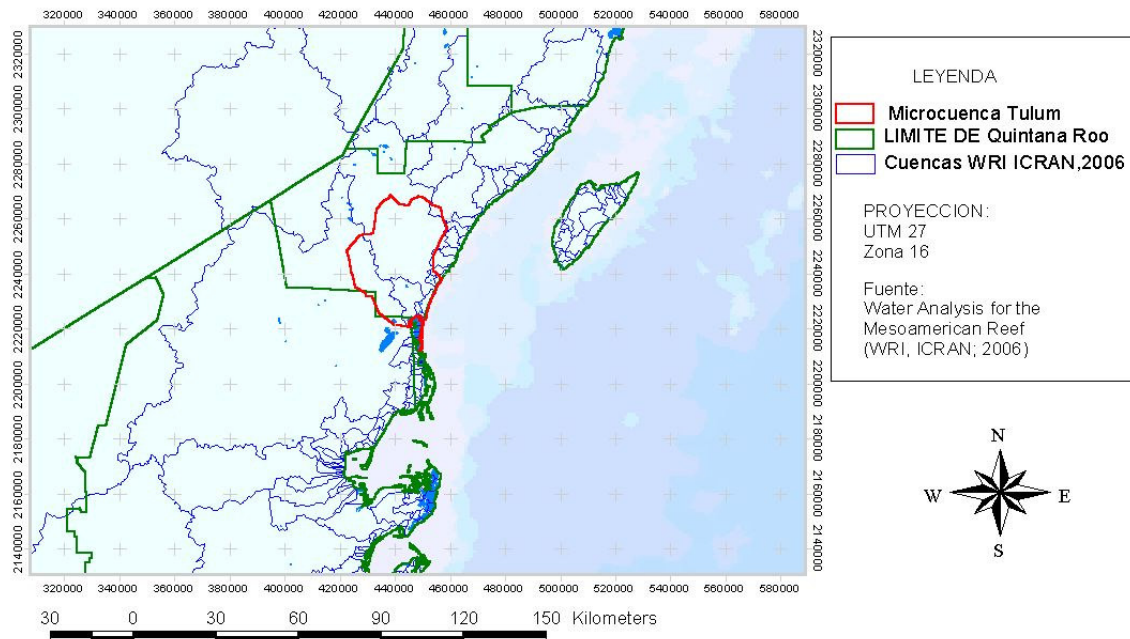


Figura 81. Delimitación de cuencas elaborada por WRI, ICRAN (2006) para el estudio Análisis de cuenca para el arrecife mesoamericano y la microcuenca Tulum del la delimitación de la UAQ

6.4.1.2 Aplicación

Como se puede observar en la figura 81 las delimitaciones de cuencas no coinciden debido a lo difícil de determinarlas en esta zona. En este ejercicio solamente se utilizó como un mero límite para poder definir el área de estudio y tener los límites para elaborar los diferentes análisis de información. No se decidió trabajar a nivel municipal por que no se cuenta con la información suficiente de este territorio.

6.4.1.3 Observaciones

Debido a que la pendiente de la Península de Yucatán es menor al dos por ciento y a la falta de ríos superficiales y la presencia de un complejo sistema de ríos subterráneos en la franja de 10 km aproximadamente, de la costa hacia el centro de la Península, cuya dirección de flujo se está estudiando todavía, resulta difícil definir las cuencas a nivel superficial, por lo que no se logra a través de esta delimitación el tener una unidad de manejo territorial funcional. Esta delimitación corta los ejidos y el municipio de Solidaridad, integrando una mínima porción del municipio de Felipe Carrillo Puerto por lo que no resulta útil en términos de manejo.

6.4.2 Análisis y participación de actores

6.4.2.1.1 Descripción

Los actores involucrados son todas aquellas personas de los diferentes sectores públicos, privados y gubernamentales relacionadas en las actividades y procesos que se llevan a cabo en un territorio definido en este caso son:

Gobierno Federal: CONANP RBSK, Parque Nacional Tulum, CONAGUA, SAGARPA; Gobierno Estatal: CAPA en Tulum y Playa del Carmen, CRESPO; Gobierno Municipal: Secretaría Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de Solidaridad, Delegados de las comunidades de Tulum, Francisco UH May, Macario Gómez y José María Pino Suárez, Comisariado ejidal y ejidatarios de Manuel A Ay, San Juan, Francisco Uh May, El Roble, Macario Gómez Jacinto

Pat, Tulum (Fund. Legal), Tulum 1a ampliación, Tulum (Dotación) José. Ma. Pino Suárez; Sector Privado: Asociación de Hoteleros y prestadores de servicios turísticos y pequeños hoteleros, Grupo XCARET; Amigos de Sian Ka' an, The Nature Conservancy, Centro Ecológico Akumal, el Centro de Derecho Ambiental (CEMDA) Instituciones de Investigación: UNAM, ECOSUR, Centro de Estudios del Agua del CICY, CINDAQ, e iniciativas del sector privado como la Red del agua del MAYAB.

6.4.2.1.2 Aplicación

En este trabajo la interacción con los actores gubernamentales solamente se limitó recibir la información proporcionada por cada una de las dependencias de gobierno (CAPA, CONAGUA, CONANP, SAGARPA, COESPO, INEGI) de las Organizaciones de la Sociedad Civil y de las Instituciones de investigación. Además hubo un intercambio de ideas y comentarios sobre este trabajo en el Foro Estatal de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Sistema Hidrológico de Quintana Roo, el cual tuvo lugar en Playa del Carmen en noviembre del 2006. No se llevaron a cabo talleres participativos con las comunidades para conocer su percepción de la problemática y las posibles soluciones. Para conocer esta información se aplicaron 84 encuestas como se describe en la metodología (punto 5.2.1). La finalidad de las encuestas fue conocer la percepción de los habitantes en cuanto a la problemática social en general y sobre todo enfocada al manejo del agua en la zona. El número de encuestas era representativo para tres comunidades pero no para Tulum, siendo una población de 14,790 habitantes hubiera requerido aplicar 1,479 encuestas.



Figura 82. Panel 5 contribuciones para el manejo sustentable del agua en Quintana Roo (CONAGUA, 2006)

6.4.2.1.3 Observaciones

En este trabajo no se hizo un diagnóstico participativo incluyendo a todos los actores como se debe hacer en el proceso de gestión integrada de cuenca. Se identificó que en la realidad no existe la participación de todos los actores en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales en el Estado, ni en la planeación de las actividades productivas y ni en la solución de la problemática social. Aún cuando se ha comenzado el trabajo por microregiones por SAGARPA, los habitantes de las comunidades e incluso las autoridades municipales no tienen conocimiento de esto. Existen 22 Planes Rectores en el Estado los cuales no son utilizados como base para el manejo y la conservación de los recursos naturales ni para el desarrollo sustentable de las comunidades de la zona.

6.4.3 Caracterización biofísica y socio económica

6.4.3.1.1 Descripción

Describe las características físicas, ambientales, sociales, y económicas de la microcuenca que nos permite conocer los procesos que ocurren en el área de trabajo y la forma en que se elabora se describió en el capítulo 5.2.

6.4.3.1.2 Aplicación

La caracterización, se elaboró recabando la información proporcionada por las diferentes dependencias de gobierno, centros de investigación, organizaciones de la sociedad civil y los pobladores de las comunidades. Fue entregada de manera rápida y no se tuvo ningún problema para acceder a ella.

6.4.3.1.3 Observaciones

La información existe y se encuentra disponible en las diferentes dependencias del gobierno. Esto se debe en gran medida a la nueva ley de transparencia la cual obliga a las dependencias a tener la información disponible y accesible al

público en general a través de un oficio de solicitud de información.

Es factible la elaboración de la caracterización y utilizarla para conocer el área de trabajo y poder entender la problemática y los procesos que ocurren en la cuenca. Mucha de la información para la caracterización social se tiene a nivel de comunidad, pero para la caracterización económica el censo económico del INEGI solamente contiene información a nivel de municipio. En cuanto a la información para la caracterización ambiental se cuenta con información general por municipio y los listados de flora y fauna solamente se tienen detallados para las zonas que se encuentran dentro de un área natural protegida.

6.4.4 Elaboración del diagnóstico de la problemática a través de un proceso participativo

6.4.4.1 Descripción

La elaboración del diagnóstico de la problemática (ver capítulo 5.4) de la cuenca se lleva a cabo después de analizar la información contenida en la caracterización biofísica y ambiental de la cuenca y a partir de esta, con la participación de los diferentes actores se procede a conocer su percepción de la problemática y las posibles soluciones a esta.

6.4.4.2 Aplicación

El diagnóstico se basó en parte en la información contenida en el PRPC en la micro región COBA (que incluye las comunidades de Macario Gómez y Francisco Uh May), ubicado al oeste del área de estudio, el cual si se realizó a través de un proceso participativo. Además se aplicaron 84 encuestas como se describe en la metodología (capítulo 5.3.1), para conocer la percepción de la gente de las comunidades sobre la problemática y su opinión sobre los

proyectos planeados para el manejo sustentable del agua y conocer el grado de participación que estarían dispuestos a tener en ese tema.

6.4.4.3 Observaciones

El diagnóstico se integró con la información disponible y aunque no se llevaron a cabo talleres con la participación de las comunidades y ejidos, los resultados del diagnóstico representan una buena base de información para conocer la problemática de la zona. Es necesario reconocer, que, debido al interés personal en los temas relacionados con la conservación de los recursos naturales y por los objetivos propios de este trabajo se inclinó más en las propuestas de soluciones de la problemática ambiental, que de igual forma como se trató de utilizar un enfoque integrador estas tratan de resolver también parte de la problemática económica y social.

6.4.5 Propuestas de proyectos y alternativas de soluciones

6.4.5.1 Descripción

Esta etapa se relaciona directamente con los objetivos, demandas y necesidades de los habitantes de la microcuenca y con el potencial y grado de deterioro que presenta el medio físico. Se deben elaborar propuestas alternativas acorde a las características económicas y socioculturales de las comunidades. Las propuestas deben ser sencillas, de bajo costo y con potencial de impacto a largo plazo (SAGARPA, 2002). Los proyectos deben de ser presentados a las comunidades de forma sencilla y

6.4.5.2 Aplicación

Las propuestas de proyectos alternativos se enfocaron al manejo sustentable de los recursos con especial énfasis en el recurso agua. Son propuestas de investigación, educación, revisión de marco legal y tecnologías alternativas que

pueden ser una opción para solucionar el problema de falta de saneamiento en la zona y proporcionar una alternativa de abastecimiento de agua promoviendo la conservación de los recursos naturales.

6.4.5.3 Observaciones

Estas propuestas no han sido concensuadas con las comunidades, ejidos y autoridades en talleres, solamente se conoce la opinión a través de las encuestas en las que se refleja apertura de participación en tres niveles, para adquirir conocimiento, para implementar medidas sencillas en sus hogares y para ejecutar acciones que impliquen instalación de infraestructura nueva.

6.4.6 Manejo participativo de los recursos hídricos y colaboración interinstitucional

6.4.6.1 Descripción

En la Ley de Aguas Nacionales (2004), se define a la gestión del agua como un proceso que se sustenta: en el estado, las organizaciones de la sociedad y lo usuarios, integrando principios, actos, políticas, recursos, instrumentos, normas, bienes, derechos, atribuciones y responsabilidades para lograr el mejoramiento ambiental, social y económico y así el desarrollo sustentable. Establece que la gestión de los recursos hídricos se llevará a cabo en forma descentralizada e integrada privilegiando la acción directa y las decisiones por parte de los actores locales y por cuenca hidrológica. Se sustenta en el uso múltiple y sustentable de las aguas y la interrelación que existe entre los recursos hídricos con el aire, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas que son vitales para el agua.

Especifica que los consejos de cuenca serán los Órganos colegiados de integración mixta, que serán la instancia de coordinación y concertación, apoyo,

consulta y asesoría, entre “la Comisión” y los “Organismos de Cuenca”, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios y de la sociedad de la respectiva cuenca o región hidrológica.

Un órgano para tomar decisiones relativas a la gestión del agua de la cuenca, o grupo de cuencas en donde se establece un Organismo de Cuenca. Un foro ordenado e institucional para ventilar los problemas de manejo del agua, por y con los protagonistas de la cuenca donde se decidirá la orientación y los contenidos de los planes de gestión del agua para la cuenca. Una organización para transparentar los actos de gobierno vincular a los gobiernos con los ciudadanos y promover la gestión integrada del agua por cuenca y por acuífero.

6.4.6.2 Aplicación

El Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY) es presidido por el Director General de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2006) y esta compuesto por los ejecutivos de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán así como por representantes de los Usuarios de Aguas Nacionales de los sectores agrícola, industrial, pecuario, público urbano y servicios.

En Quintana Roo operan como células de apoyo al CCPY los cinco Comités Estatales de Usuarios de los sectores agrícola, pecuario, industrial, servicios y público urbano así como el “Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento” y el “Comité de Playas Limpias Cancún Riviera Maya”

Los miembros del Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento realizan actividades como el análisis de los “Términos de Referencia para el Diagnóstico Integral para el manejo Sustentable del agua en la cuenca transfronteriza del Río Hondo, México-Belice al año 2025”; Los miembros del Comité de Playas Limpias Cancún Riviera Maya realizan actividades como consensuar y aprobaron un

“Mecanismo de respuesta inmediata en caso de riesgo sanitario en las playas publicas” Los Comités Estatales de Usuarios, El Comité de Playas Limpias y Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento validaron y dieron seguimiento al “Programa Regional Hídrico (2001-2006)” y participaron en el proceso de Formulación del “Programa Hídrico del Organismo de Cuenca (PHOC) visión 2030”, haciendo recomendaciones para mejorar la planeación hídrica en el estado.

El tipo de actividades que realizan para incrementar el interés por la gestión participativa del agua es a través de eventos como “Hacia el Foro Mundial del Agua” llevado a cabo el 22 de septiembre del 2005 en la ciudad de Cancún. Y el “Foro Estatal de Investigación y de Desarrollo Tecnológico sobre Sistema Hidrológico de Quintana Roo” los días 30 y 31 de octubre en Playa del Carmen, en el cual se expuso este trabajo de tesis.

6.4.6.3 Observaciones

La colaboración entre las instituciones gubernamentales en Quintana Roo se realiza en los comités estatales de usuarios y en los grupos técnicos especializados y la única participación en el Foro que se tuvo a este nivel fue la presentación de lo que se pretendía hacer con este trabajo de tesis.

Se encontró que en el seno de estos comité no participa SAGARPA y que la CONAGUA, y las comunidades de Francisco Uh May y Macario Gómez, en las que existe un PRPC no lo conocen, ni han oído hablar del plan nacional de micro cuencas, no está enterada de la existencia de los PRPC elaborados en Quintana Roo.

6.5 Estrategias de manejo integrado del agua y alternativas de saneamiento

Con la finalidad de establecer las condiciones necesarias para mantener o mejorar la salud de los ecosistemas, las especies que los habitan, para mitigar las amenazas que los afectan y mantener el agua en calidad y cantidad adecuada se diseñaron metas enfocadas a la conservación de los recursos naturales del área teniendo como eje el recurso agua.

Estas metas se componen de un objetivo, las líneas estratégicas para llevarlo a cabo y acciones concretas para la implementación de estas últimas, los cuales incluye la ficha técnica para los proyectos comunitarios.

La estrategia contiene cuatro objetivos: Investigación, Marco legal, Educación e Implementación, para promover el manejo integrado del agua, los cuales se planea sirvan de guía a las autoridades y organizaciones de la sociedad civil para su aplicación.

6.5.1 INVESTIGACION.

Dirigir los esfuerzos de instituciones académicas y Organizaciones de la Sociedad Civil para ejecutar proyectos de investigación y su difusión sobre la hidrogeología de la zona.

Línea estratégica 6.5.1.1 Promover la cartera de necesidades de información entre el sector académico y de ONGs, así como la difusión de sus resultados, estableciendo convenios formales con los centros de investigación, y las agencias que la fomentan (eg. CONACYT), para incluir en sus convocatorias y planes de proyectos los temas mencionados y una vez que se tenga la información compilarla y establecer mecanismos de acceso a la información a todo tipo de público. Las necesidades de investigación detectadas son:

1. Elaborar un estudio que determine cuál es el impacto real de la perforación y uso de pozos sobre la vegetación de duna costera y en el sistema hidrológico en la franja de los 10 km de la costa hacia el continente.
2. Hacer los estudios para llevar acabo las adecuaciones que resulten necesarias a la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-1997-003, para incorporar límites máximos permisibles para nutrientes, ausentes en este momento en la norma, estableciendo diferentes parámetros y límites de acuerdo a las condiciones específicas de cada región.
3. Promover la elaboración de los estudios para fundamentar la propuesta de norma (CEMDA, 2006), que establece los límites máximos de contaminantes en la descargas de aguas residuales en zonas costeras con presencia de arrecifes de coral, analizando si sería conveniente incluir otros parámetros como la Clorofila-A.
4. Promover la elaboración de los estudios para fundamentar la propuesta de norma (CEMDA, 2006), que establece los límites máximos de contaminantes en la descargas de aguas residuales en zonas costeras para incorporar agroquímicos a los parámetros existentes.
5. Continuar con la exploración y mapeo de las cavernas y sistemas de ríos subterráneos.
6. Continuar con el estudio de la geohidrología de la región y describir la distribución del agua subterránea con estudios como el estudio de Alta resolución Geohidroelctrica para la exploración del sisteme cárstico en Yucatán, México (Supper *et al*, 2007)

Línea estratégica 6.5.1.3. Elaborar los estudios puntuales necesarios para complementar la información requerida en los modelos hidrológicos en la región y apoyar con información de base para el cumplimiento de las NOMs

1. Medición de la conductividad hidráulica para utilizar la información en la modelación hidrogeológica y en la selección de sitios para la posible construcción de rellenos sanitarios.

2. Medición in situ de los parámetros involucrados en el balance hidrológico como evapotranspiración, escurrimiento e infiltración, para tener una mejor estimación de la recarga y donde se lleva acabo.

6.5.2 MARCO LEGAL.

Revisar y fortalecer el marco que legisla el uso y la conservación del agua

Línea estratégica 6.5.2.1. Promover la regulación de la explotación y uso de cenotes

1. Elaborar un censo de cenotes en el que se describa su ubicación, uso, explotación y descripción de la tenencia de la tierra en que se encuentren
2. Si se encuentran en ejidos elaborar el reglamento de uso en coordinación con el ejido
3. Si se utilizan para actividades turísticas regularizar que todos cuenten con concesión

Línea estratégica 6.5.2.2. Proponer una Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos de contaminantes en la descargas de aguas residuales en zonas costeras con presencia de arrecifes de coral, evaluada y promovida por el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA, 2006) que incluye lo siguiente:

1. Crear una nueva Norma Oficial Mexicana que contenga parámetros más específicos para zonas costeras de alta fragilidad (presencia de arrecifes coralinos)
2. Hacer las adecuaciones que resulten necesarias a la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-1996-001 para incorporar límites máximos permisibles y parámetros más estrictos sobre nutrientes
3. Establecer los siguientes parámetros para descargas en bienes nacionales en zonas costeras con presencia de arrecifes y específicamente para descargas en aguas subterráneas: 1 mg/l Nitrógeno Inorgánico Total, 0.5 mg/l Fósforo Inorgánico Total. Estos son valores de referencia de los cuales se puede partir para un análisis inicial, no son

definitivos

4. Promover que los usuarios entreguen reportes públicos con la evaluación de su efluente dos veces por año.

Línea estratégica 6.5.2.3. Evaluar la necesidad de modificar la NOM-83-SEMARNAT-2003 que contiene las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para que exista una reglamentación adecuada en cuanto a la construcción de rellenos sanitarios.

1. Identificar el tipo, material y medida de la barrera artificial que deben tener los rellenos sanitarios, ya que no existe una barrera natural de este tipo en la Península
2. Incluir la descripción de los métodos indicados para identificar los sitios de recarga en la Península de Yucatán

Línea estratégica 6.5.2.4. Promover el manejo del agua en la superficie, desde el abastecimiento (captación pluvial), almacenamiento, tratamiento (biofiltros y humedales) y reutilización y así disminuir la afectación a las condiciones hidrogeológicas subterráneas, y si es posible, como lo sugiere Beddows *et al.* 2005 (en Neuman & Rahbek, 2007) eliminar la inyección de aguas tratadas en todo el acuífero de la Península de Yucatán, por lo extremadamente vulnerable que este es a dicha práctica.

6.5.3 EDUCACION.

Valorización del recurso y difusión de conocimientos sobre hidrogeología local

Línea estratégica 6.5.3.1. Diseñar y aplicar un programa de difusión y educación ambiental que apoye estrategias clave para impulsar una cultura de valoración de recursos naturales

1. Con énfasis en el manejo y cuidado del agua con niños, adolescentes, adultos, ejidatarios sectores productivos y empresarios, comunidades Mayas (en lengua Maya) y políticos.
2. Difusión y conocimiento de las características geohidrológicas de la zona

Línea estratégica 6.5.3.2. Implementar un programa de difusión y educación de prácticas alternativas para el manejo sustentable del agua promoviendo fuentes alternativas de abastecimiento de agua y prácticas en el hogar para ahorro de agua en español y maya para las comunidades rurales donde mas del 50% de los habitantes son maya hablantes.

1. Reparación de fugas y goteras
2. Colección de aguas grises de regaderas y lavadoras para reuso en sanitarios y riego a través de acolchados en comunidades mayores a 500 habitantes
3. Disminuir el volumen de tanques de agua de sanitarios para ahorro de agua en cada descarga
4. Difusión de las prácticas descritas en las líneas estratégicas 6.5.4.1 y 6.5.4.2

Línea estratégica 5.5.3.3. Implementar un programa para crear conciencia en la población sobre el manejo de residuos sólidos, que incluya:

1. La disminución del uso de desechables y empaques o utilizar materiales biodegradables
2. La elaboración de composta en el hogar
3. La separación de los residuos sólidos y difundir los datos de las empresas que se dedican al reciclaje
4. Promover la reutilización de materiales

6.5.4 IMPLEMENTACION.

Establecer proyectos comunitarios alternativos que disminuyan la presión sobre los recursos del área y que eleven la calidad de vida de los pobladores.

Línea estratégica 6.5.4.1 Promover la aplicación de técnicas alternativas de manejo del agua y saneamiento para la conservación de los recursos hídricos y de los ecosistemas que estos conectan en comunidades rurales y rancherías a través de:

1. La captación de agua de lluvia para su uso en el hogar (6.6.1.1).
2. La instalación y uso de baños secos composteros y uso de la composta para mejoramiento de la tierra en cultivos de hortalizas de traspatio (6.6.1.2).
3. La instalación de biofiltros y la técnica de acolchado para el tratamiento y reutilizar las aguas grises residuales en riego de árboles frutales y hortalizas (6.6.1.3 y 6.6.1.5)

Línea estratégica 6.5.4.2 Promover la utilización de técnicas alternativas de manejo de agua y saneamiento para la conservación de los recursos hídricos en comunidades mayores a 500 habitantes a través de:

1. La captación de agua de lluvia (6.6.1.1)
2. La instalación de humedales artificiales de flujo sub superficial para el tratamiento de aguas residuales (6.6.1.4)

Línea estratégica 6.5.4.3 Manejo adecuado de los residuos sólidos para disminuir la cantidad de desechos cuya disposición final sea el tiradero y así disminuir la amenaza a la contaminación de los acuíferos a través de:

1. Elaboración de composta en el hogar (6.6.2.1) y por parte del municipio en localidades mayores, desarrollando un programa de recolección de desechos orgánicos para compostar.
2. Separación de residuos sólidos en vidrio, papel y cartón, PET, y plástico, recolección por el municipio de residuos separados y reciclaje (6.6.2.2)

3. Utilización de artículos desechables biodegradables.

Línea estratégica 6.5.4.4 Conservación de áreas de captación y selvas por medio de:

1. Promoción de huertos de traspatio (6.6.3.1)
2. Uso de estufas ahorradoras de leña (6.6.3.2)

A continuación se describen las fichas técnicas de los proyectos comunitarios alternativos.

6.6 Fichas de Proyectos comunitarios

6.6.1 Técnicas alternativas de manejo del agua y saneamiento

6.6.1.1 Captación de agua de lluvia

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos. Pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y publicar técnica y científicamente, sólo en época reciente. Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia. (Veenhuizen, *et al.*, sin año).

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para uso y consumo humano. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que por su ubicación se minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta (UNATSABAR, 2001).

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las ventajas de proporcionar agua con alta calidad físico química del agua de lluvia, es un sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y

alejadas, emplea mano de obra y materiales locales, no requiere energía para la operación del sistema y es fácil de mantener (UNATSABAR, 2001).

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son el alto costo inicial que puede representar para familias de bajos recursos impidiendo su implementación, y que la cantidad de agua captada depende en este caso sobre todo del área de captación, más que de la cantidad de precipitación anual (UNATSABAR, 2001).

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

Los factores técnicos incluyen la producción u “oferta” de agua; la cual está relacionada directamente con la precipitación durante el año, con las variaciones estacionales de la misma, la superficie de captación disponible y los cálculos del sistema para su instalación. En la cuenca se tiene una precipitación media anual elevada (1166.83 mm/año). En este caso lo que limita la cantidad de agua recolectada es la superficie de captación disponible.

A su vez, la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

En las comunidades de la cuenca, en base a información de la CAPA, (2005), las extracciones de agua de los pozos para uso potable por comunidad en relación al número de habitantes en cada una de estas es la que se muestra en la tabla 67.

Tabla 67. Estimaciones de demanda de agua mensual en litros por persona por día en base a datos CAPA, (2005)

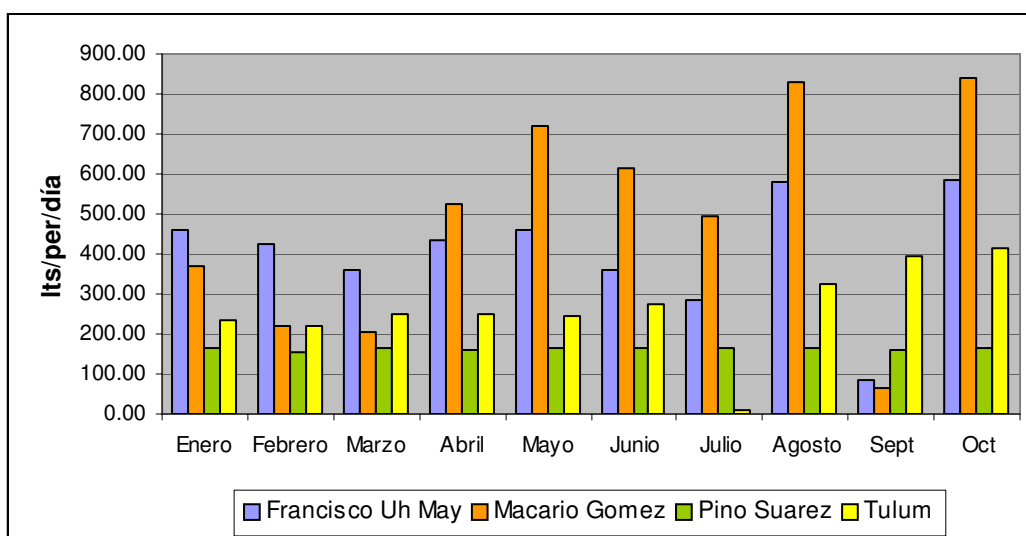


Tabla 68. Consumo de agua por comunidad litros/persona/día en base a datos (CAPA, 2005)

Localidad/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct
Francisco Uh May	459.94	427.08	358.90	436.27	461.65	361.46	283.52	579.64	83.33	584.47
Macario Gómez	370.53	218.83	204.56	525.26	720.58	615.67	492.75	832.28	66.43	837.89
Pino Suárez	165.33	154.67	165.33	160.00	165.33	165.33	165.33	165.33	160.00	165.33
Tulum	237.47	222.22	251.25	250.81	246.38	276.77	9.25	327.13	394.08	414.91

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos:

A) Captación: la captación está conformada por el techo de las edificaciones, el mismo que debe tener superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento hacia el sistema de recolección. En general en la cuenca los techos están hechos de material (cemento), sin tejas o laminas en los techos, aunque también se observan techos de palma.

B) Recolección y Conducción: Sistema que conducirá el agua recolectada por el

techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Esta conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más abajo del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. El material de las canaletas será de PVC por ser liviano, resistente y fácil de unir, además de ser económico. Si en alguna de las casas se cuenta con materiales para las canaletas de madera o metal también pueden ser aprovechados. Las canaletas se unen al techo con alambre madera y clavos.

C) Interceptor: Dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contienen todos los materiales que en el se encuentren en el momento de inicio de las lluvias. Este dispositivo separa estas aguas para que no contaminen el tanque de almacenamiento. El volumen del tanque receptor de estas aguas se calcula con la figura 83 B según el área del techo.

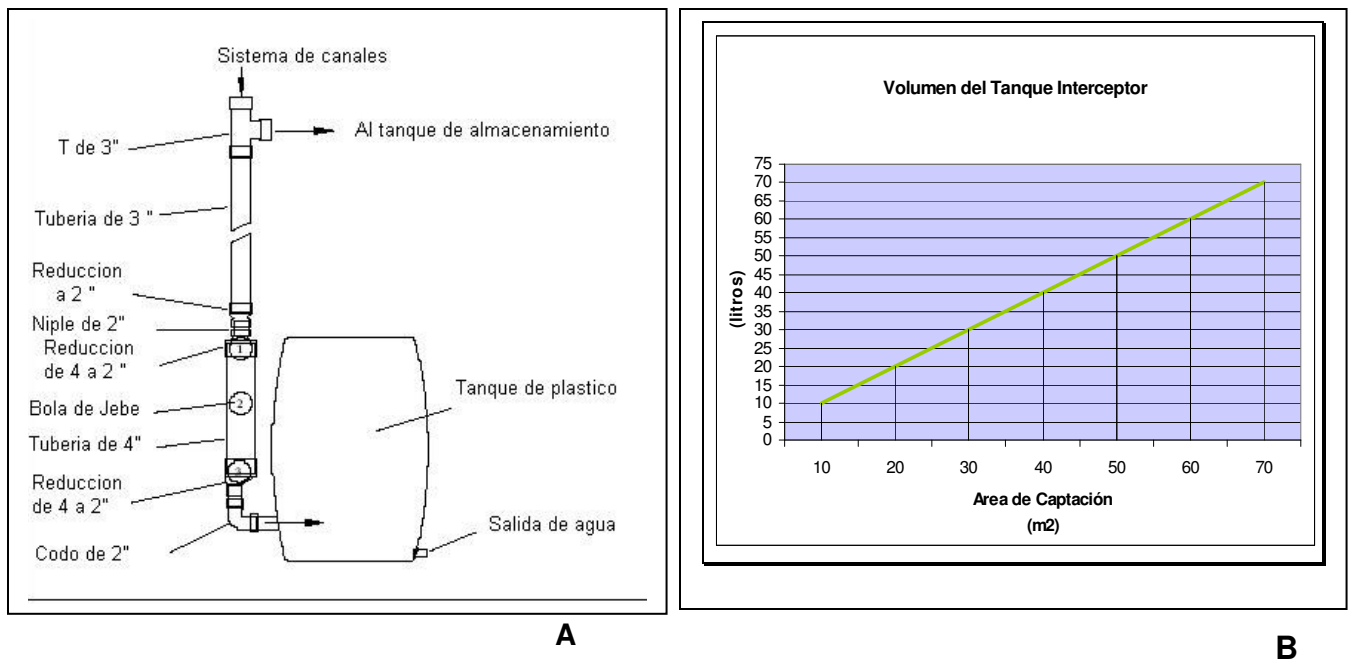


Figura 83. Sistema interceptor de primeras aguas (A) (Unatsabar, 2001) y gráfica para calcular el volumen necesario para su instalación (B) (Unatsabar, 2001)

D) Almacenamiento: Obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no mas de dos metros de altura para minimizar las sobre presiones
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con una malla para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro del agua y el drenaje.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua de lluvia que pueden ser usados son de mortero y cemento, concreto, depósitos tipo “Rotoplas” o ferro cemento que es la opción más económica. Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento se necesita conocer los datos de precipitación media mensual para la zona, el coeficiente de escorrentía dependiendo del material de la superficie de captación y la demanda de agua mensual.

Tabla 69. Coeficiente de escorrentía para diferentes materiales

Material	Coeficiente
Lámina Metálica	0.9
Tejas de arcilla y techos de material	0.8
Madera	0.8
Paja	0.6

La demanda mensual se estimó en base al número de usuarios que se benefician del sistema, en la cuenca, según datos del INEGI, en promedio los siguientes habitantes por vivienda.

Tabla 70. Promedio de habitantes por vivienda (INEGI 2005)

Comunidad	Promedio de habitantes por vivienda
Francisco Uh May	5.18
Macario Gómez	4.67
Tulum	3.93
José María Pino Suárez	4.1

El número de días del mes y la dotación de agua requerida por lts/per/día. Esta se estimó utilizando la información de extracción de agua para uso potable de los pozos de las comunidades y el número total de habitantes por comunidad.

Tabla 71. Consumo promedio de agua en litros por habitante por día (Estimado en base a datos de extracción de agua CAPA)

Comunidad	lts/hab/día
Francisco Uh May	403.63
Macario Gómez	488.48
Pino Suárez	163.20
Tulum	263.03

Tabla 72. Datos de estimación de demanda mensual de agua para la cuenca (m³)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Francisco Uh May	64.81	58.54	64.81	62.72	64.81	62.72	64.81	64.81	62.72	64.81	62.72	64.81
Macario Gómez	70.72	63.87	70.72	68.44	70.72	68.44	70.72	70.72	68.44	70.72	68.44	70.72
Tulum	32.04	28.94	32.04	31.01	32.04	31.01	32.04	32.04	31.01	32.04	31.01	32.04
José Ma Pino Suárez	20.72	18.71	20.72	20.05	20.72	20.05	20.72	20.72	20.05	20.72	20.05	20.72

Tabla 73. Datos de estimación de oferta mensual de agua en viviendas con techos de material (m³)

(captación (m2))	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
10	0.52191	0.34464	0.33651	0.39051	0.87003	1.32273	0.966393	1.15011	1.65006	1.61676	0.73494	0.558504	10.4631
20	1.04382	0.68927	0.67302	0.78102	1.74006	2.64546	1.932786	2.30022	3.30012	3.23352	1.46988	1.117008	20.9262
30	1.56573	1.03391	1.00953	1.17153	2.61009	3.96819	2.899179	3.45033	4.95018	4.85028	2.20482	1.675512	31.3893
40	2.08764	1.37854	1.34604	1.56204	3.48012	5.29092	3.865572	4.60044	6.60024	6.46704	2.93976	2.234016	41.8524
50	2.60955	1.72318	1.68255	1.95255	4.35015	6.61365	4.831965	5.75055	8.2503	8.0838	3.6747	2.79252	52.3155
60	3.13146	2.06781	2.01906	2.34306	5.22018	7.93638	5.798358	6.90066	9.90036	9.70056	4.40964	3.351024	62.7786
65	3.39242	2.24013	2.187315	2.53832	5.655195	8.597745	6.281555	7.475715	10.72539	10.50894	4.77711	3.630276	68.0101
100	5.2191	3.44635	3.3651	3.9051	8.7003	13.2273	9.66393	11.5011	16.5006	16.1676	7.3494	5.58504	104.631
200	10.4382	6.8927	6.7302	7.8102	17.4006	26.4546	19.32786	23.0022	33.0012	32.3352	14.6988	11.17008	209.262

Tabla 74. Datos de estimación de oferta mensual de agua en viviendas con techos de paja (m³)

captación (m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
10	0.34794	0.22976	0.22434	0.26034	0.58002	0.88182	0.644262	0.76674	1.10004	1.07784	0.48996	0.372336	6.97539
20	0.69588	0.45951	0.44868	0.52068	1.16004	1.76364	1.288524	1.53348	2.20008	2.15568	0.97992	0.744672	13.9508
30	1.04382	0.68927	0.67302	0.78102	1.74006	2.64546	1.932786	2.30022	3.30012	3.23352	1.46988	1.117008	20.9262
40	1.39176	0.91903	0.89736	1.04136	2.32008	3.52728	2.577048	3.06696	4.40016	4.31136	1.95984	1.489344	27.9016
50	1.7397	1.14878	1.1217	1.3017	2.9001	4.4091	3.22131	3.8337	5.5002	5.3892	2.4498	1.86168	34.877
60	2.08764	1.37854	1.34604	1.56204	3.48012	5.29092	3.865572	4.60044	6.60024	6.46704	2.93976	2.234016	41.8524
65	2.26161	1.49342	1.45821	1.69221	3.77013	5.73183	4.187703	4.98381	7.15026	7.00596	3.18474	2.420184	45.3401
100	3.4794	2.29757	2.2434	2.6034	5.8002	8.8182	6.44262	7.6674	11.0004	10.7784	4.8996	3.72336	69.7539
200	6.9588	4.59514	4.4868	5.2068	11.6004	17.6364	12.88524	15.3348	22.0008	21.5568	9.7992	7.44672	139.508

En base a estos datos se determinó el volumen de agua que puede captarse por mes dependiendo del área de captación. En la tablas 75 y 76 se observan los resultados.

Se requiere una superficie de captación de 200 m² para tener un abastecimiento de 114 litros por persona por día, con una superficie de 100 m² se obtiene una captación de 56.78 litros por persona por día y con una superficie de 68 m² se tiene un abastecimiento de 36.71 litros por persona por día.

En las tablas 75 y 76 se observa el volumen posible de captar dependiendo de la superficie de captación y el porcentaje que esto representa sobre el consumo de agua (agua extraída de los pozos) en el año 2005. Resulta para las comunidades de Macario Gómez y Francisco Uh may, debido al alto consumo de agua que, con la captación de agua de lluvia se puede cubrir desde 1.53 y 1.67 hasta el 30.58 y 33.36% del agua que se extrae del acuífero. Para Tulum se puede captar del 3.37 al 67.48% del agua que se extrae actualmente del acuífero y en José Ma. Pino Suárez se podría cubrir las necesidades de consumo de agua de existir una superficie de captación de 200 m² por vivienda. Lo anterior es relevante ya que disminuiría la presión que hay sobre los acuíferos en su explotación.

Tabla 75. Volumen de agua posible de captar y porcentaje que representa del consumo en 2005, para las cuatro comunidades de la cuenca

Techo de material Área de captación (m ²)	Fco. Uh May		Macario Gómez		Tulum		José Ma. Pino S	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
10	711.01	1.67	638.54	1.53	39376.37	3.37	574.19	5.21
20	1422.01	3.34	1277.08	3.06	78752.74	6.75	1148.39	10.42
30	2133.02	5.00	1915.62	4.59	118129.11	10.12	1722.58	15.64
40	2844.02	6.67	2554.16	6.12	157505.48	13.50	2296.78	20.85
50	3555.03	8.34	3192.70	7.64	196881.85	16.87	2870.97	26.06
60	4266.03	10.01	3831.24	9.17	236258.22	20.24	3445.16	31.27
65	4621.54	10.84	4150.51	9.94	255946.40	21.93	3732.26	33.88
100	7110.05	16.68	6385.40	15.29	393763.70	33.74	5741.94	52.12
200	14220.11	33.36	12770.80	30.58	787527.40	67.48	11483.88	104.25

Tabla 76. Volumen de agua posible de captar y porcentaje que representa del consumo en 2005, para las cuatro comunidades de la cuenca

Techo de paja Area de captacion (m2)	Fco. Uh May		Macario Gómez		Tulum		José Ma. Pino S	
	M3	%	m3	%	m3	%	m3	%
10	474.00	1.11	425.69	1.02	26250.91	2.25	382.80	3.47
20	948.01	2.22	851.39	2.04	52501.83	4.50	765.59	6.95
30	1422.01	3.34	1277.08	3.06	78752.74	6.75	1148.39	10.42
40	1896.01	4.45	1702.77	4.08	105003.65	9.00	1531.18	13.90
50	2370.02	5.56	2128.47	5.10	131254.57	11.25	1913.98	17.37
60	2844.02	6.67	2554.16	6.12	157505.48	13.50	2296.78	20.85
65	3081.02	7.23	2767.01	6.63	170630.94	14.62	2488.17	22.59
100	4740.04	11.12	4256.93	10.19	262509.13	22.49	3827.96	34.75
200	9480.07	22.24	8513.87	20.39	525018.27	44.99	7655.92	69.50

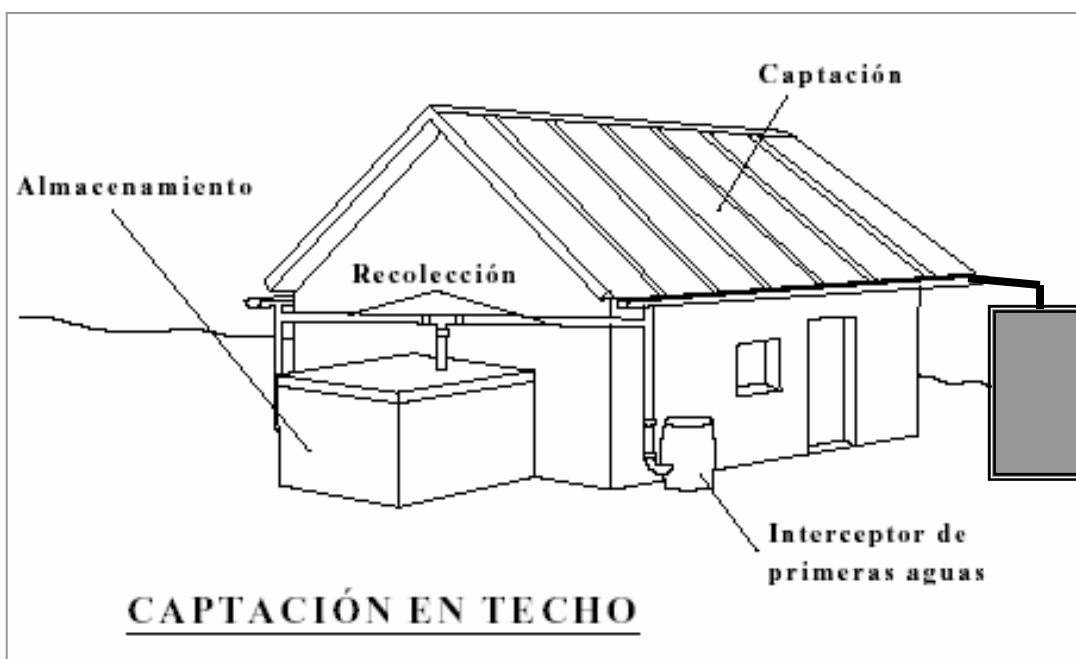


Figura 84. Esquema de captación de agua de lluvia (Unatsabar, 2001)

Los factores sociales, que se deben tener en cuenta es principalmente la aceptación y voluntad para participar de las comunidades, en las visitas de campo se observó que actualmente se realizan prácticas de captación de agua de lluvia ya en la zona pero de manera muy rudimentaria. En Tulum se encontró el caso de una familia que realiza esta práctica por que representa una opción de contar con abastecimiento de agua cuando han sido afectados por huracanes

ya que en estos eventos el suministro de agua y luz es interrumpido y todo el sistema de distribución de agua potable de CAPA, depende de bombas.

Durante el trabajo de campo se hicieron encuestas en las comunidades sobre la voluntad de las personas a implementar este tipo de sistemas y se observó una respuesta favorable. Se preguntó a la gente de las comunidades sobre su interés y disposición para participar en capacitaciones, llevar a cabo prácticas sencillas, o la instalación de sistemas en sus hogares, encontrando que el 29.2% participaría solamente en las capacitaciones, el 32.30% implementaría prácticas sencillas en sus hogares que no requirieran de mayores instalaciones, el 30% adoptaría e instalaría estos sistemas en sus hogares y el 7.6% restante no participaría de ninguna manera.

De igual forma la adopción de estos sistemas alternativos de dotación de agua para las comunidades requiere de un proceso de implantación. Este proyecto se debe de trabajar con el grupo de mujeres de las comunidades, ellas son las que utilizan el recurso en los hogares y son más susceptibles a apropiarse el uso de esta tecnología. Con los señores se debe de trabajar para que participen en la construcción e instalación de infraestructura.

Este proceso se debe dar en las siguientes etapas:

- Presentación de la tecnología a las familias
- Ventajas, desventajas y costos, incluyendo el tiempo de recuperación de la inversión
- Capacitación para la instalación de la infraestructura
- Capacitación para su cuidado y mantenimiento

Una forma de que las familias se apropien de este proyecto es a partir del proceso de valorización del recurso agua (como se explicó en el capítulo 6.5.3), necesitan conocer la situación del agua en esta zona y la necesidad de implementar estos proyectos. También es importante empezar a trabajar con familias piloto en diferentes comunidades una vez que estos sistemas estén funcionando y dando resultados a estas familias servirán como ejemplos demostrativos locales para otras familias.

El costo de instalar el sistema de captación de agua de lluvia es de \$1,024.46 por hogar aproximadamente. Este costo no incluye el almacenamiento. Este varía dependiendo de la superficie de captación de agua, infraestructura existente, los materiales disponibles en la zona y no considera instalación para la distribución del agua captada dentro del hogar.

Tabla 77. Presupuesto y materiales para colector de agua de lluvia por hogar

Material	Unidad	Costo Unitario
T PVC 3"	1 pieza	\$7.48
Tubería PVC 3"	2 m	\$27.98
Reducción de PVC 3 a 2 "	1 pieza	\$4.60
Niple de 2"	1 pieza	\$1.15
Bola de Jebe	1 pieza	\$5.00
Tubería 4"	1 m	\$31.43
Reducción de 4 a 2 "	1 pieza	\$6.89
Codo PVC de 2"	1 pieza	\$16.80
Tambo de plástico	65 litros	\$50.00
Tubo salida 2"	1 pieza	\$6.70
Pegamento para PVC	1 lata	\$43.00
Conexión al colector		
Tubo PVC 4 a 6 "	20 m	\$810.00
Tubo PVC 2 "	5 a 10 m	\$4.60
T PVC 2"	3 piezas	\$13.80
Total		\$1,029.43

Tabla 78. Posibles fuentes de financiamiento para instalar sistemas de captación de agua de lluvia

Fuente de Financiamiento	Programa	Financiamiento	Datos de contacto	Descripción del Apoyo
Banco Mundial	"Water and Sanitation Program"	Entre US\$50,000 a US\$100,000. Máximo US\$200,000	DM team por fax al (202) 522-2042 o e-mail: DMinfo@worldbank.org . Pagina Web http://web.worldbank.org	Soluciones ambientalmente sustentables para saneamiento de hogares pobres Manejo sustentable de recursos naturales (agua) específicamente para la provisión de agua y saneamiento de los pobres
Fondos municipales destinados a saneamiento e infraestructura	---	Por gestionar	Municipio de Solidaridad	Saneamiento
CONAGUA y CAPA	---	Por gestionar	Municipio de Solidaridad	Saneamiento

6.6.1.2 Fosas sépticas o baños secos composteros

El tratamiento de las aguas negras en la cuenca es escaso y generalmente en las comunidades más pequeñas no cuentan con sanitarios en los hogares. En la comunidad de Tulum es muy frecuente el uso de fosas sépticas, con pozos de absorción. Se construye en forma enterrada y consta habitualmente de dos o más compartimentos. En el primero se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual. Los siguientes compartimentos sirven para mejora de la sedimentación y reserva de los fangos que rebosen la primera cámara. Los principales problemas de su funcionamiento son los malos olores, el acumulo de grasas y flotantes, y la necesidad de tratar sus efluentes.

Existen diversos criterios de diseño según los países, y la capacidad total de la fosa séptica, en función de la población (habitantes) y del caudal (l/d), según normatividad de diferentes países. Por otra parte, según sea de dos o tres compartimentos, se recomienda una relación entre volúmenes de los mismos de 2:1 y 6:3:1 respectivamente (Edline, 1983).

En su diseño deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Disponer de un tiempo de retención mínimo de 24 horas, una vez desconectada la máxima capacidad de acumulación de los fangos.
- Prever dispositivos a la entrada y salida, que eviten la salida de fangos y grasas.
- Disponer del suficiente volumen de almacenamiento de fangos, para evitar la saturación y escape de los mismos antes de la limpieza.
- Prever dispositivos de ventilación, que permitan la salida de los gases producidos en la digestión (EPA 1980).

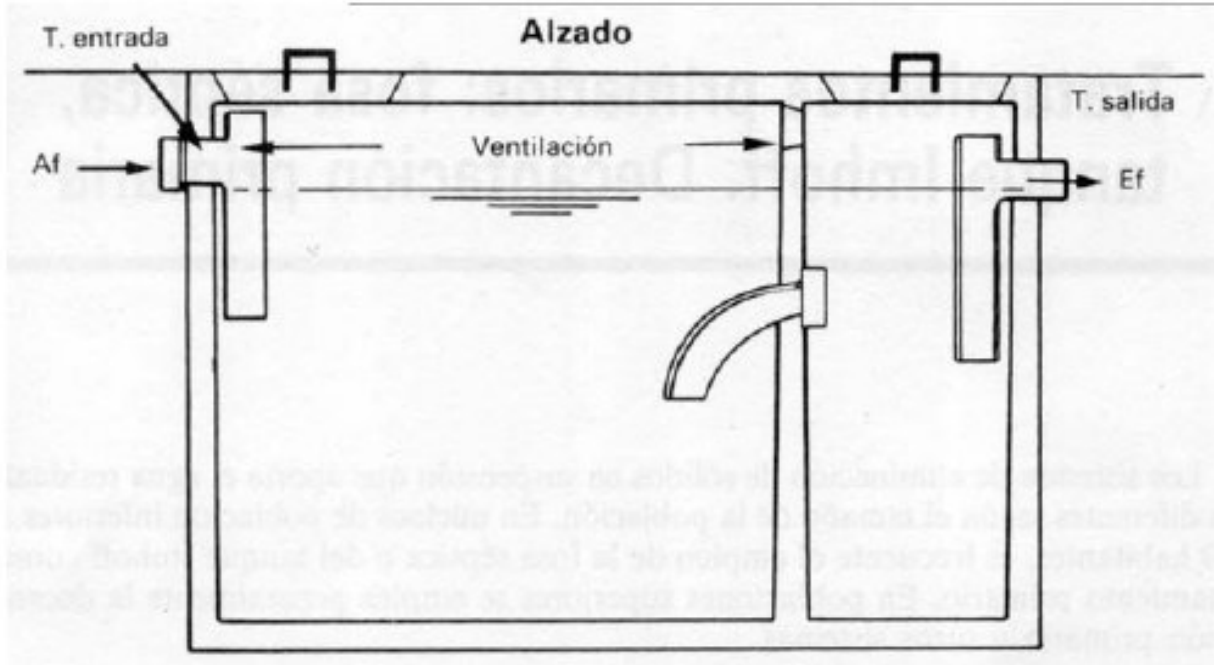


Figura 85. Diagrama de Fosa Séptica (MIRC, 1999)

A diferencia de las fosas sépticas, el sanitario ecológico seco (SES) es una alternativa para el tratamiento de las excretas humanas que soluciona problemas de enfermedades infecciosas, degradación ambiental, uso de agua, contaminación del agua y además proporciona nutrientes para el crecimiento de las plantas. Con adaptaciones sencillas el SES puede ser utilizado en sitios de temperaturas altas y con climas húmedos, en zonas con espacios abiertos y amplios o en el interior de un edificio en planta alta. Igual puede ser un sanitario doméstico o público (Castillo, 2002). Es una opción viable para zonas en las que no existen instalaciones de drenaje doméstico y tratamiento posterior para las aguas residuales, o que alto porcentaje de la población defeca al aire libre.

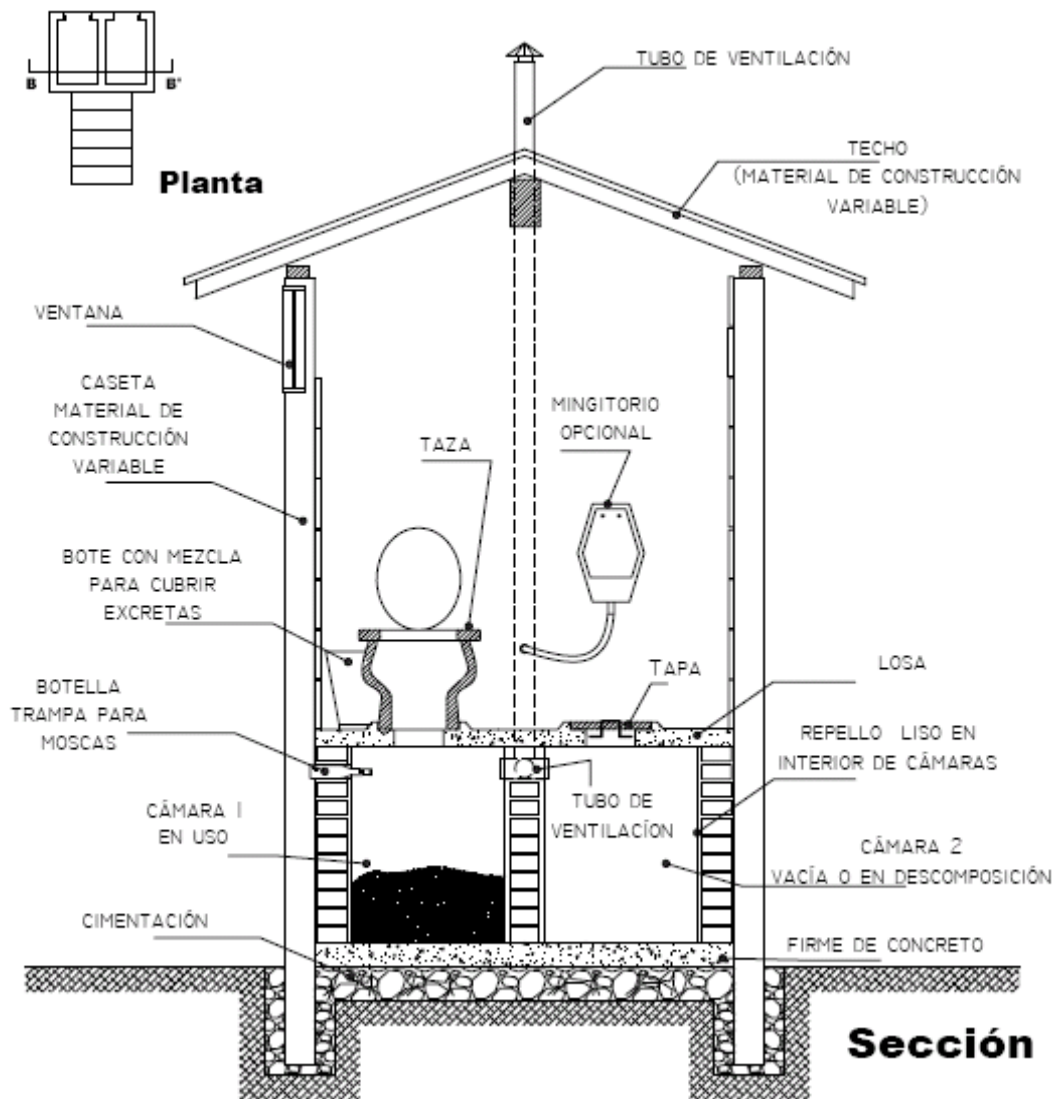


Figura 86. Vista de planta de SES (Castillo, 2002)

El SES separador consiste en un asiento o taza especial que ayuda a separar las heces de la orina. Las heces caen dentro de un contenedor o cámara mientras la orina es dirigida a un bote para después diluirla (proporciones entre 5 y 10 partes de agua por una parte de orina) y usar esta mezcla para riego y como fertilizante. Generalmente tienen dos cámaras de 300 a 500 litros de capacidad construidas sobre la superficie de la tierra. Las cámaras están ventiladas por un tubo que al calentarse con el sol, succiona el aire dentro de ellas y permite una circulación constante de oxígeno. Se puede construir también una sola cámara y

usar contenedores pequeños intercambiables. La caseta puede construirse de cualquier material según considere el usuario (Castillo, 2002).

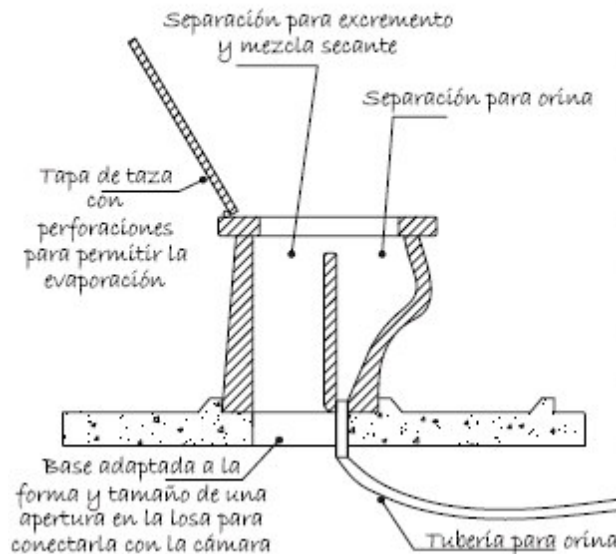


Figura 87. Taza separadora de un SES

El SES trata las excretas humanas mediante un proceso aeróbico. Las condiciones ambientales para lograr que la materia orgánica depositada dentro de las cámaras se degrade deben ser

1. Flujo constante de oxígeno
2. Temperatura calida: mayor a 20°C (68°F)
3. Humedad media: entre 45% y 70%
4. Alcalinidad: nivel pH mayor a nueve, Al agregar una mezcla con materiales ricos en carbono evitamos acidez y enriquecemos la materia orgánica. Otros elementos como la cal y ceniza ayudan a bajar el nivel de acidez pero no aportan muchos nutrientes.
5. Evaporación
6. Tiempo de tratamiento: mínimo seis meses

Cada vez que se utiliza el SES se le agrega una mezcla rica en carbono como tierra, cal, (cinco partes de tierra por una de cal) ceniza y aserrín (ver tabla 79 para opciones de materiales), mediante oxidación, transforma al excremento en

abono libre de patógenos. El proceso para la descomposición de las excretas lleva un periodo mínimo de seis meses. Por lo que es necesario una cámara que se utilice durante medio año mientras la otra está en tratamiento. Para cuando la cámara en uso esté llena se vacía la cámara en tratamiento y comenzar el ciclo nuevamente. Durante un periodo de seis meses una persona llena un espacio de 60 litros aproximadamente, una familia de seis personas produce cinco sacos de abono y 7,000 litros de fertilizante.

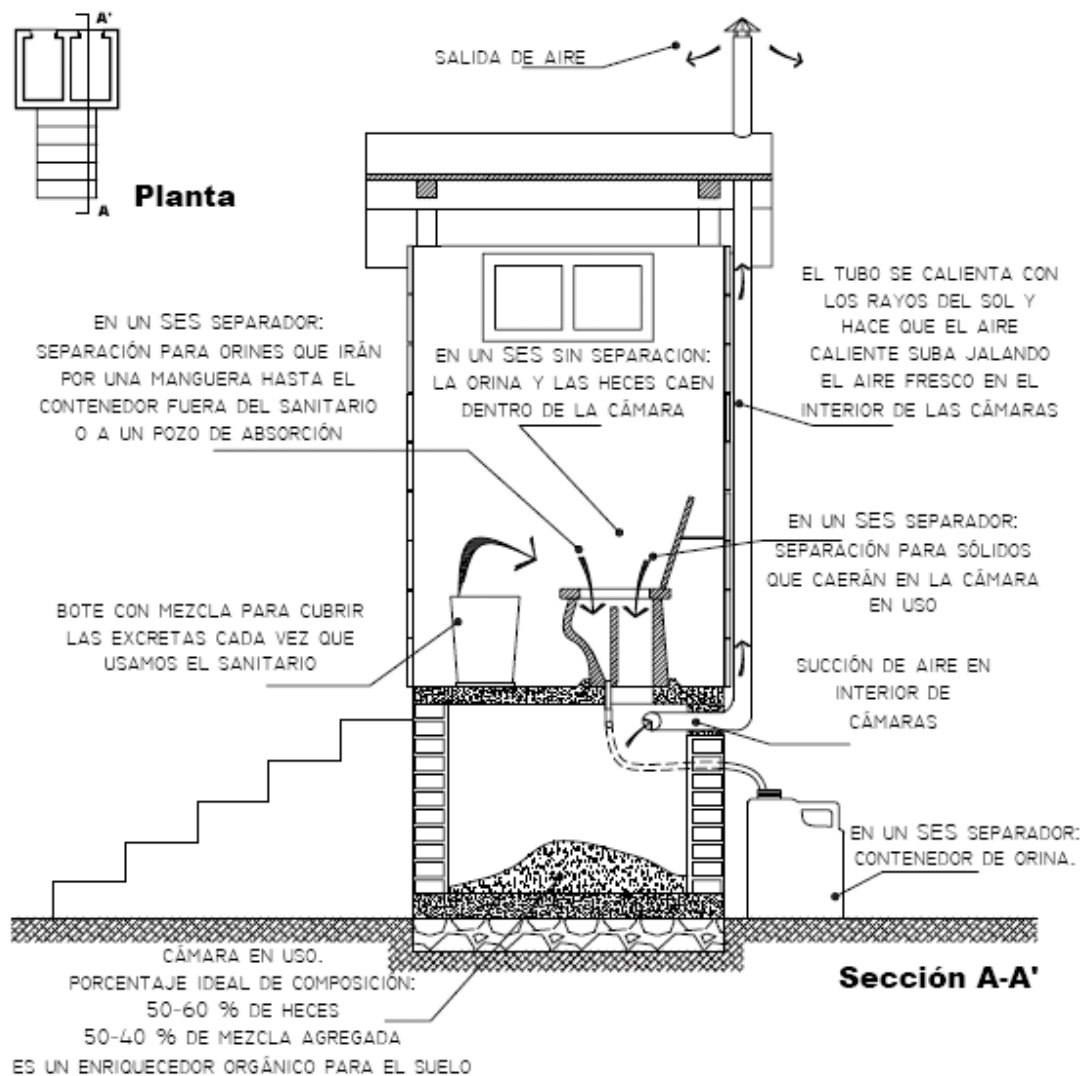


Figura 88. Vista de planta lateral de SES (Castillo, 2002)

Tabla 79. Materia orgánica recomendable para agregar al SES (Castillo, 2002)

MATERIAL	% Nitrógeno	Proporción C/N *	MATERIAL	% Nitrógeno	Proporción C/N *
Algas	1.9	19	○ Madera dura	0.09	560
○ Amaranto	3.6	11	○ Madera suave	0.09	641
● Aserrín	0.11	511	Mejillones	3.6	2.2
● Aserrín putrefacto	0.25	200-500	○ Olotes de maíz	0.6	56-123
Betabel	1	44	▷ Orina	15-18	0.8
Camarón	0.10	400-563	● Paja	0.7	80
○ Cartón	0.3	121	● Paja de avena	0.9	80
○ Cáscara de arroz	1.05	48	● Paja de trigo	0.4	80-127
○ Cáscara de avena	2.65	15	○ Pan	2.10	
○ Corteza dura	0.241	223	○ Papel	---	100-800
● Corteza suave	0.14	496	○ Pasto	2.4	12-19
○ Directorios telefónicos	0.7	772	○ Periódico	0.06-0.14	398-852
Frijol de soya	7.2-7.6	4-6	○ Planta de betabel	2.3	19
Frutas	1.4	40	○ Planta de maíz	0.6-0.8	60-73
Granos de café	---	20	○ Planta de papa	1.5	25
▷ Heces	5-7	5-10	Productos vegetales	2.7	19
○ Helecho	1.15	43	Sobras de pescado	10.6	3.6
● Hierba (pastura)	2.10	---	Zanahoria	1.6	27
○ Hierba de legumbres	2.5	16			

* Por cada unidad de N tenemos este número de unidades de C. Por ejemplo: la paja tienen 80 unidades de C por cada unidad de N. El balance ideal para un buen abono es 1 N / 30 C.

Fuente: Joseph Jenkins, The humanure handbook, Jenkins, USA, 1999, p.56.

Si la construcción del SES resulta difícil por falta de recursos o espacio, se puede proceder a utilizar el sanitario seco con cámara en el exterior.

Se puede dividir al sanitario abonero en dos partes: el sitio privado del SES es un asiento sobre un pequeño contenedor donde se colecta las excretas, puede estar dentro de la casa, para después confinarlas en el SES abonero, el cual es el sitio donde se procesa la materia del SES hasta transformarse en abono. Estas cámaras están en el exterior para favorecer las condiciones ideales del sistema de compostaje.

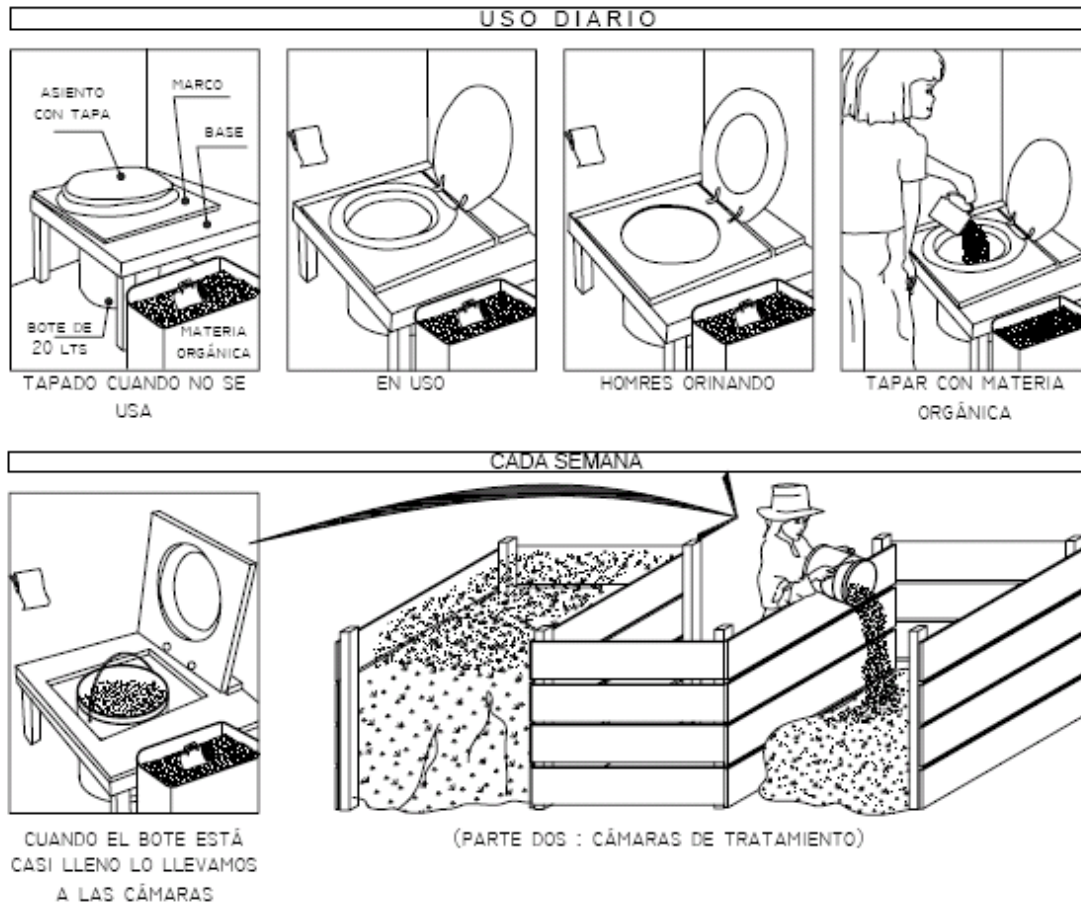
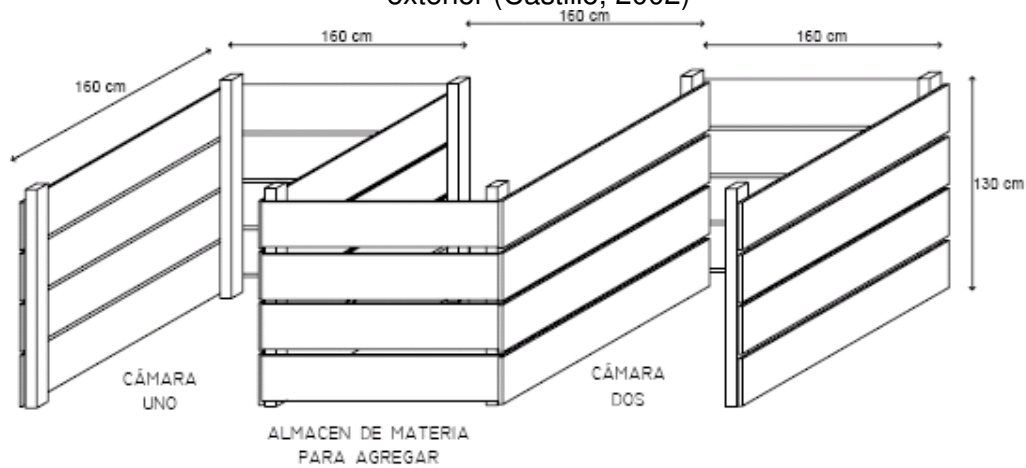


Figura 89. Sanitario abonero dividido en taza y cámara de tratamiento para composteo exterior (Castillo, 2002)



6.6.1.3 Reutilización de aguas grises tratadas por biofiltros para huerto de traspatio

Las aguas grises son aguas jabonosas que provienen de lavabos, fregaderos, lavaderos, regaderas y lavadoras. No se incluyen las aguas provenientes de los sanitarios ya que estas requieren otro tipo de tratamiento. Las aguas grises contienen cantidades significativas de nutrientes, materia orgánica y bacterias, por lo que es necesario un tratamiento previo a su utilización en el riego.

Tabla 80. Caracterización de aguas grises en el hogar en porcentaje y lts/hab/día

Usos	RAG	%	Litros/ habitante/día									
			10	20	30	40	60	100	150	200	250	300
Cocinar		5	0.5	1	1.5	2	2.5	5	7.5	10	12.5	15
Sanitarios		40	4	8	12	16	20	40	60	80	100	120
Regaderas	X	30	3	6	9	12	15	30	45	60	75	90
Lavadero	X	7	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	7	10.5	14	17.5	21
Lavado de ropa	X	15	1.5	3	4.5	6	7.5	15	22.5	30	37.5	45
Otros	X	3	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	3	4.5	6	7.5	9

El tratamiento se realiza a través de un filtro jardinero o biofiltro. El filtro funciona gracias a que en el suelo existen microorganismos que degradan la materia orgánica y a que las plantas necesitan nutrientes para su desarrollo. Los materiales como el tezontle (grava volcánica porosa) o la arena son muy efectivos para el tratamiento de aguas grises porque son porosas y permiten que dichos microorganismos se adhieran a su superficie. También existen plantas que pueden tolerar con mayor factibilidad un medio saturado, con presencia de agua permanente, estas plantas se denominan de pantano y tienen un papel muy importante en el tratamiento.

El sistema comienza con una trampa de grasas y sólidos, seguido por el filtro jardinero relleno de tezontle, al centro tierra con arena y plantas, terminando el filtro con tezontle, a la salida el depósito para el agua tratada.

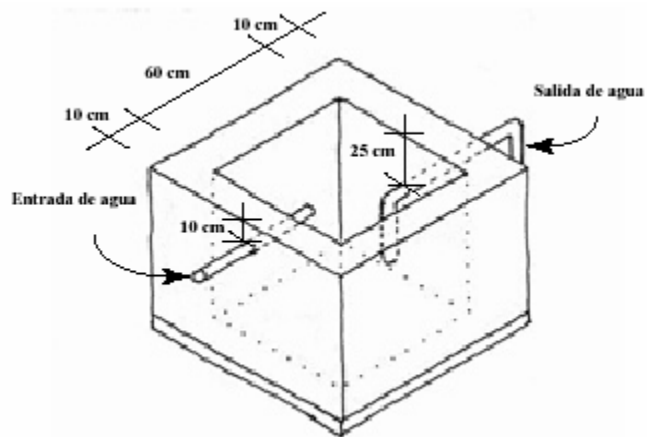


Figura 90. Trampa de grasas (Saras Transformación SC, sin año)

Consiste en un registro elevado con repellado fino interior, con entrada de PVC de dos pulgadas en la parte superior y la salida 15 por debajo de la entrada, cuenta con un tubo PVC y un codo que llega 10 cm encima del firme, permitiendo sedimentación de sólidos. Debe tener una pendiente de por lo menos de cuatro por ciento en el tubo que lleva el agua al biofiltro (pendiente: $(h_1-h_2)/D \geq 0.04$).

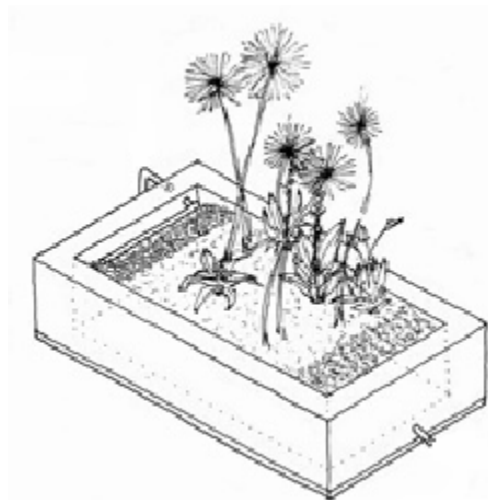





Figura 91. Jardinera (Saras Transformación SC, sin año)

Se recomienda construir de tabique con repellado fino al interior y con un firme de cinco cm. El firme debe tener una pendiente leve para garantizar el escurrimiento adecuado del agua. La entrada del agua debe estar cinco centímetros por debajo del borde. Puede instalarse un tubo de distribución perforado en la parte de abajo cada cuatro o cinco cm. La salida del filtro se coloca sobre el firme, utilizando un tubo de PVC de dos pulgadas. El agua se dirige a una zona de riego o a un registro. Para controlar el nivel del agua dentro del filtro se puede conectar una manguera flexible que al subir o bajarla, sube o baja el nivel del agua del filtro.

Las plantas para la jardinera que pueden utilizarse pertenecen al género *Typha*, *Scirpus*, *Canna*, *echinochloa*, *Colocasia*, *Berula* y *Rorippa*, son especies que se enraizadas emergentes que pueden ser colectadas en Tabasco, Campeche, y Yucatán (Consulta Dra. Mahinda Martínez, 2007).

Tabla 81. Especies para utilizar en la jardinera

Enraizadas emergentes	Localización	Descripción
<i>Typha dominguensis</i>	Tabasco, Campeche, y Yucatán	 <p data-bbox="686 1690 1382 1745">http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/fotos/fvarzea2.jpg</p>

<p><i>Typha latifolia</i></p>	<p>Tabasco, Campeche, y Yucatán</p>	 <p>http://www.jardin-mundani.org/typhaceae/typha.jpg</p>
<p><i>Scirpus cubensis</i></p>	<p>Tabasco, Campeche, y Yucatán</p>	<p><small>Illustration provided by: IFAS, Center for Aquatic Plants University of Florida, Gainesville, 1996</small></p>  <p><small>Scirpus cubensis Bulrush</small></p> <p><small>Scirpus cubensis</small></p> <p>http://plants.ifas.ufl.edu/scicub.jpg</p>
<p><i>Canna indica</i></p>	<p>Tabasco, Campeche, y Yucatán</p>	 <p>www.egebotanik.com.tr</p> <p>http://www.egebotanik.com.tr/images/gallery/025.jpg</p>

<p><i>Echinochloa colonum</i></p>	<p>Tabasco, Campeche, y Yucatán</p>	 <p>http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt2/dokablage/oac_168/typ_01/0109691_1.jpg</p>
-----------------------------------	-------------------------------------	---

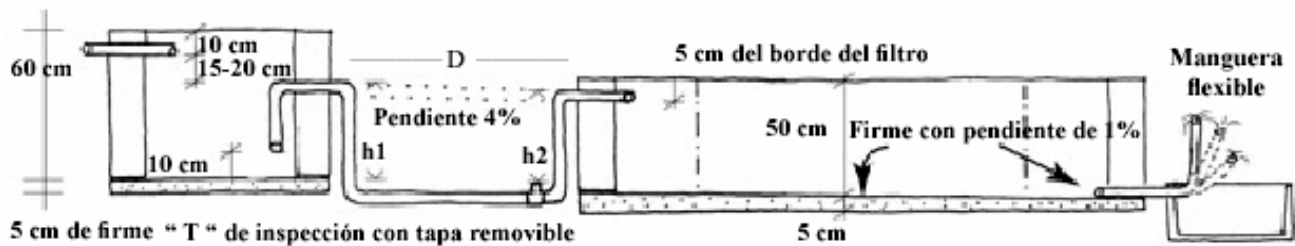


Figura 92. Vista lateral del sistema de tratamiento de aguas grises (Sara Transformación SC, sin año)

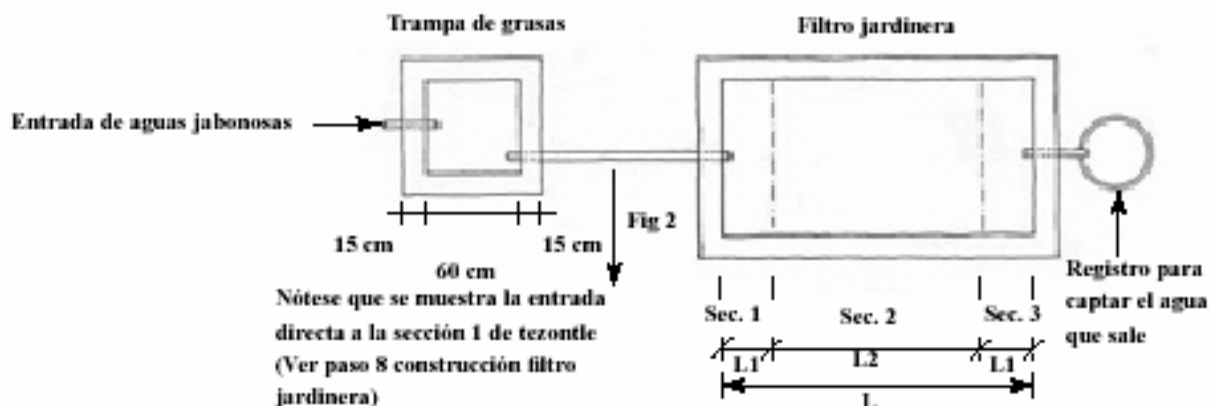


Figura 93. Vista de planta del sistema de tratamiento de aguas grises (Sara Transformación SC, sin año)

- Sección 1: Tezontle de mayor tamaño $L_1 = 1/6 L$
- Sección 2: Mezcla de arena con tierra $L_2 = 2/3 L$
- Sección 3: Tezontle de menor tamaño $L_3 = 1/6 L$

En las casas de las comunidades en esta zona generalmente cuentan con un lavadero con pileta en el patio en el que realizan todas las actividades de lavado de utensilios de cocina, de ropa, etc. En algunos casos se bañan en cuartos utilizando cubetas y tinajas, por lo que esta agua podría ser recuperada sin necesidad de cambio de conexiones de drenaje. En los casos que se cuente con regaderas o fregaderos en cocinas conectados a drenaje se deberá hacer un cambio de instalación. El tratamiento para el biofiltro consiste en el cambio del tezontle y la tierra cada de 5 a 10 años.

6.6.1.4 Humedales artificiales de flujo subsuperficial

La descarga de aguas residuales domésticas propician en los cuerpos de agua receptores el aumento de materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos y eutroficación. La eutroficación es provocada por el aumento de nutrientes en el agua, específicamente por compuestos de nitrógeno (N), como los nitratos (NO_3^-) y de fósforo (P), como los organofosfatos (H_xPO_4^n). La eutroficación tiene como principal consecuencia el alto incremento en la productividad primaria (presencia de organismos fotosintéticos). Aunque el P puede ser también un nutriente limitante. Los H_xPO_4^n cuyos principales derivados son el fosfato (PO_4^{3-}), el fosfato monoácido (HPO_4^{3-}) y el ácido fosfórico (H_3PO_4), constituyen 80% del total de las formas en las que se encuentra el P en las aguas residuales de tipo doméstico (Drizo *et al.* 1997, Jung *et al.* 2001, Lin *et al.* 2002).

La utilización de sistemas de tratamiento como los humedales artificiales subsuperficiales se puede eliminar los diferentes compuestos de fósforo a diferencia de las plantas de tratamientos convencionales que son diseñadas para eliminar compuestos de carbono (Luna *et al.* 2004).

Los humedales artificiales de flujo subsuperficiales (HAFS) son sistemas de tratamiento diseñados y construidos en base al funcionamiento de humedales naturales. Básicamente están conformados por tres componentes: 1) el medio filtrante o material de empaque, 2) plantas vasculares emergentes (ver opciones

de plantas locales en) y 3) los microorganismos que se desarrollan en el medio filtrante y en las raíces y rizomas de las plantas vasculares, (Figura 91). El proceso del humedal consiste en conducir el influente, preferentemente con bajo contenido de sólidos, por un medio de soporte o lecho, confinado con material filtrante que permita el crecimiento de plantas vasculares y la proliferación de microorganismos depuradores (Brix, 1997), logrando la remoción de materia orgánica disuelta, nutrientes y microorganismos (Tanner *et al.* 1995). Específicamente, la retención de fósforo se efectúa principalmente por precipitación y adsorción en el medio de soporte, que es poco significativa si las características de este no son de tipo mineral, conformadas por sustancias reactivas al fósforo, o bien si dichas sustancias se agotan por el tiempo de actividad del sistema (Johansson, 1997). Las HAFS convencionales logran remover 50% del fósforo total del cual seis a 15% por las plantas vasculares, de 75 a 90% por el medio de soporte y por los microorganismos menos del cinco por ciento, aunque puede haber un incremento de fósforo inorgánico libreado por estas hasta del dos por ciento (Drizo *et al.* 1997). Por lo anterior, Luna y Ramírez (2004) sugieren usar como medios filtrante agregados minerales denominados PIECA y CAS, con los cuales obtuvieron más de un 90% de remoción de $H_xPO_4^n$. En la tabla 82 se muestran algunas de las características físicas y parámetros relacionados a los medios filtrantes mencionados.

Tabla 82. Relación de características de los medios filtrantes utilizados en humedales artificiales (Luna, 2004)

Material	pH (unidades)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	P (mg/g)	Fe (mg/g)	Ca (mg/g)	Al (mg/g)	Conductividad eléctrica (is/cm)	Porosidad (%)	Densidad relativa (g/mL)	Conductividad Hidráulica (m ³ /m ² s)
PIECA	10.98	334.41	<0.01	2.11	324	2.23	2826	0.44	2.46	5.19x10 ⁻⁴
CAS	9.12	282.23	<0.01	7.18	233	19.23	2150	0.46	2.35	7.12x10 ⁻⁵
Grava convencional	7.69	24.28	<0.01	43.56	0.82	2.57	3180	0.45	2.42	5.4x10 ⁻⁴

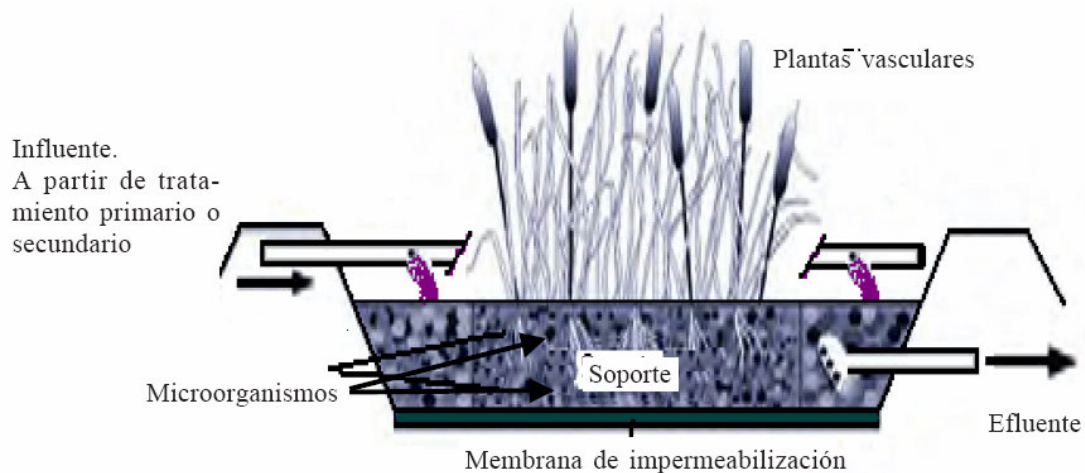


Figura 94. Esquema y estructura de un humedal artificial subsuperficial (Luna, 2004)

Tabla 83. Proceso por el cual se eliminan los diferentes contaminantes (Lahora, sin año)

Contaminante	Proceso de eliminación
Materia orgánica	Sedimentación Asimilación Mineralización
Sólidos en suspensión	Floculación Sedimentación Filtración Degradación
Nitrógeno	Amonificación Volatilización de amonio Nitrificación Desnitrificación
Fósforo	Adsorción Sedimentación Precipitación química Asimilación vegetal
Patógenos	Sedimentación y muerte gradual Radiación UV Antibióticos naturales Predación
Compuestos inorgánicos	Asimilación Inmovilización
Metales pesados	Fijación al sedimento Adsorción por las plantas

Las características que se deben de tomar en cuenta para el su diseño y construcción del HAFS son:

1. Ubicación del sitio:
2. Dimensiones: estas dependen del volumen de agua residual a tratar, y del número de personas a la que este dará servicio.
3. Pendiente: por lo menos del uno por ciento hacia la zona de salida (Salas *et al.* 2005).
4. Impermeabilización, generalmente se utiliza lámina plástica de polietileno de alta densidad (PEAD) de 2,5 mm de espesor, colocada sobre geotextil de 180 g/cm² (Salas *et al.* 2005).
5. Sustrato y espesor: generalmente se utiliza grava o tezontle, pero para tener una remoción más eficiente de fosfatos se sugiere utilizar los medios filtrantes de agregados minerales descritos en la tabla 82.
6. Drenaje: si es de flujo vertical en el fondo de cada humedal, y embutidas en una capa de grava 25-40 mm y de 15 cm de espesor, se han instalado cinco tuberías de drenaje, de 125 mm de diámetro, dispuestas longitudinalmente y que finalizan en la arqueta de recogida de efluentes depurados (Salas *et al.* 2005).
7. Ventilación: Si es de flujo vertical Para favorecer la oxigenación del sustrato de los humedales, cada tubería de drenaje cuenta con chimeneas, distribuidas equidistantemente, y que sobresalen un metro verticalmente sobre el sustrato, al objeto de potenciar la circulación de aire por las tuberías.
8. Especies plantas vasculares: las descritas en la tabla 81.
9. Si es de flujo horizontal: En la cabecera y en la salida de estos humedales se deben disponer sendas zonas de bolos de 40-80 mm. La alimentación se efectúa mediante tuberías de polietileno con perforaciones de un cm de diámetro. Estas tuberías descansan directamente en la parte superior de la zona de bolos dispuesta al comienzo de los humedales. La evacuación de los efluentes depurados se realiza a través de tuberías de

drenaje, embutidas en el fondo de la zona de bolos dispuesta a la salida. Los drenajes conectan con una tubería final flexible, ubicada en la arqueta de evacuación de efluentes. Esta tubería permite modificar el nivel de encharcamiento del sustrato (Salas *et al.* 2005).

6.6.1.5 Acolchado

Este sistema es más simple y consiste en dirigir las aguas grises directamente a los árboles o plantas, instalando un surco alrededor de estos y rellenándolo con residuos de jardín hojas, ramas, cortezas, paja, triturados. Este medio retiene la humedad del suelo, distribuye el agua de manera uniforme y actúa como una esponja para permitir el paso del aire, creando un lugar ideal para que crezcan microorganismos que dan tratamiento a las aguas grises. Cada m² de acolchado es capaz de tratar 15 litros de agua gris por día aproximadamente.

Tabla 84. Dimensiones del sistema de filtro acolchado

Flujo (Its/día)	m ² de acolchado	No árboles pequeños	No árboles grandes
150	10	3	1
300	20	6	2
450	30	9	3

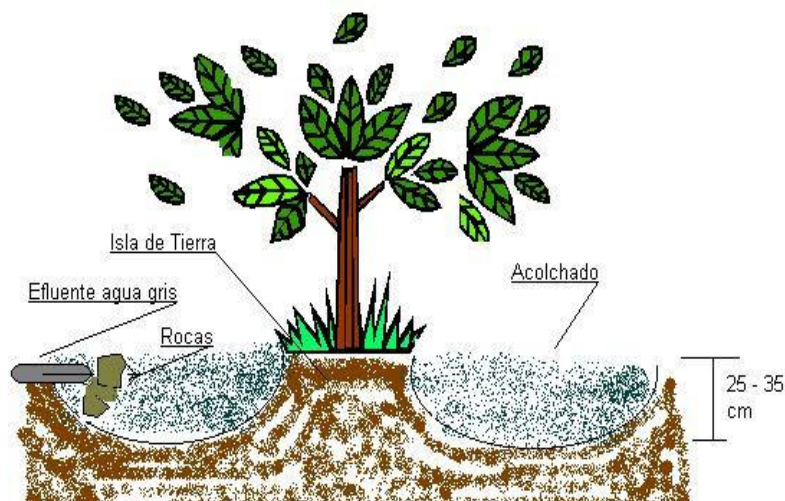


Figura 95. Esquema de sección de acolchado

6.6.2 Manejo de residuos sólidos:

6.6.2.1 Composta

El aprovechamiento de los desechos orgánicos domésticos con el fin de mejorar la calidad de la tierra para los cultivos de traspatio y disminuir en un 50% aproximadamente el volumen de residuos sólidos generados en los hogares (en Quintana Roo el 50% de los desechos generados son orgánicos) (CEMDA, sin año), es una opción viable.

El composteo es la descomposición y estabilización biológica de la materia orgánica bajo condiciones aerobias controladas, que da como resultado un producto final (composta) que es estable, libre de patógenos y elementos fitotóxicos para las plantas y que puede ser aplicado benéficamente al suelo (Haug, 1993, en Widman *et al*, 2005). Además, es un proceso que puede desarrollarse con baja tecnología y satisfactoriamente en climas tropicales como el del estado de Quintana Roo (Widman *et al*, 2005).

Los organismos que descomponen el material orgánico son: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Para la descomposición los organismos se necesitan cuatro elementos principales nitrógeno, carbón, humedad y oxígeno.

Una composta que se descompone rápidamente, tiene un equilibrio de materiales ricos en carbono y nitrógeno. La materia orgánica tiene diferentes contenidos de humedad. La mezcla debe ser en una proporción cuatro a seis partes de materia seca por una parte de materia húmeda. Lo más grande la variedad de los materiales, mejor para la composta. Mucha materia fibrosa es esencial para producir un humus con una buena estructura, mientras la materia suave provee principalmente los nutrientes (TERRAMOR, 2007).

Tabla 85. Materia orgánica rica en nitrógeno y carbono Materia orgánica suave/húmeda y fibrosa/seca (TERRAMOR, 2007)

materia orgánica rica en nitrógeno	materia orgánica rica en carbono	materia orgánica suave/húmeda (mas de 60 % de húmedad)	materia orgánica seca y fibrosa (menso de 60% de húmedad)
<ul style="list-style-type: none"> => pasto recién podado => hierbas frescas => pelo restos => desperdicios orgánicos y vegetales de la cocina => plumas => orina => estiércol fresco animal => harina de sangre o huesos del rastro => harina de pescado 	<ul style="list-style-type: none"> => hojas secas de los árboles => corteza triturada => papel, cartón => aserín (muy alto en carbono) => paja, pasto seco => tierra de hoja => 	<ul style="list-style-type: none"> => desechos orgánicos de la cocina (p.ej. de frutas y vegetales) => restos de los alimentos => pulpa de frutas (ep. ej. de los jugos) => algas marinas (en la costa) => poda fresca de pasto y hierbas => estiércol fresco (p.ej. de vaca, borrego, caballo) 	<ul style="list-style-type: none"> => poda de árboles (triturados) => Maleza gruesa => hojas secas (de preferencia de encino, fresno etc- evitar hoja de pino y eucalipto) => paja o pasto seco => aserín

En un estudio realizado en la Península por Widman *et al*, (2005), en el cual compararon el crecimiento de plantas de tomate y frijol utilizando suelo de la región, composta y fertilizantes, la composta utilizada para este experimento presentó mejores características que el suelo de la región desde el punto de vista de nutrientes aprovechables por las plantas. La adición de composta al suelo de la región mejoró el tiempo y porcentaje de germinación de semillas de tomate y frijol. Las plantas de tomate crecieron con tallos más largos cuando fueron crecidas en mezclas de suelocomposta. Las plantas de tomate tuvieron más hojas en las macetas que fueron cultivadas en la mezcla suelo-composta. La mezcla de suelo-composta presentó mejores resultados que la mezcla de suelo-fertilizante para el cultivo de frijol y tomate en suelos de la región.



Figura 96. Composta (NRCS, 1999)

Para lograr una buena compostera hay que mantener condiciones adecuadas de humedad, temperatura, nutrientes y elementos trazas.

Tabla 86. Factores que condicionan la degradación de la materia orgánica en el proceso de compostaje (Navarro, sin año)

Factor	Descripción	Limitantes
Humedad	Facilita que los nutrientes estén disponibles a microbios y sus procesos reproductivos, metabólicos y asimilativos. Si el contenido de humedad es muy alto, se evita que el oxígeno este disponible para que los microbios puedan digerir los desechos y se genera mal olor. La humedad ideal para compostaje es entre el 40% y 60% por peso, Al tacto el material debe sentirse húmedo pero no debe escurrir agua.	Un contenido bajo de humedad inhibe la actividad microbiana, a medida se va alcanzando el límite inferior el proceso de descomposición se hace más lento, si se reduce a menos del 8% toda la actividad microbiana se detiene
Temperatura	EL material de composta pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbiológica. Debe alcanzar condiciones termofílicas (entre 40 y 93 °C), (altas temperaturas destruyen patógenos en la composta) Las pilas de composta domésticas deben ser mayores de 1 m ³ para poder alcanzar condiciones termofílicas.	No se destruyen los patógenos en la composta
Nutrientes	Es necesario un balance entre carbono y nitrógeno, los materiales ricos en carbono son color café y seco y los ricos en nitrógeno son verdes y húmedos. Los micronutrientes son el manganeso, cobre, magnesio, como categoría intermedia entre micro y macro nutrientes están el fósforo, potasio y calcio. Los microbios usan el carbono para su oxidación metabólica, parte lo convierten en bióxido de carbono y parte lo combinan con nitrógeno para sus células, cuando el carbono está en lignina o celulosa cuesta biodegradarlo. Cuando el carbono se quema se eleva la temperatura de la pila. El nitrógeno es necesario para el crecimiento de las células, cuando hay exceso del mismo se libera como amoniaco y cuando hay escasez se retarda el compostaje. El resto de nutrientes suele estar presente en las concentraciones adecuadas.	La relación óptima es de 19 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno, cuando esta relación es mayor se retarda el compostaje y se genera un olor desagradable, pero si la relación es menor, los microorganismos se terminan el carbono y dejan ir el nitrógeno como amoniaco.

Entre las formas de compostaje se tiene:

- Pila estática: Una gran pila de material orgánico.
- Filas: El compostaje se hace en largas filas las cuales deben ser aireadas dándoles vuelta.
- Cajones: contenedores que permiten facilidad en el manejo de la composta (Figura 97), siendo este el mas adecuado para compostas domésticas por el tamaño y la facilidad de su manejo.

Para una pila casera el tamaño debe ser entre 1m x 1m x 1m y 1.75m x 1.75m x 1.75m, para garantizar autocalentamiento y aireación general. Si se aíslan los lados de la pila se pueden mantener pilas más pequeñas, si se hacen pilas más grandes hay que voltearlas frecuentemente o usar chimeneas de aire.

La forma de elaborar la composta muy sencilla solamente se debe disponer de suficiente material para tener al menos un metro cúbico de desechos con altos contenidos de nitrógeno y carbono, para que la relación C/N sea de 25 a 30 (la tabla 85 muestra los materiales recomendados). Con este material se hace una base de material rústico como olotes, paja, ramas, etc., de siete a 10 cms. de espesor. Esto facilita la entrada de aire por el fondo. Los desechos orgánicos de las viviendas deben ser cortados y mezclados bien para disponerlos en estratos de 10 a 15 centímetros. Después de cada estrato se debe humedecer y agregue un poco de composta producida anteriormente para agregar microorganismos. Después de cada tres estratos se debe agregar nuevos materiales rústicos para proveer canales de aireación. Así se continúa hasta el final de la pila. Cuando la temperatura del interior de la pila llega entre 45°C y 65°C, se revuelve todo. Si no hay manera de medir la temperatura, hay que voltearla cada tres o cuatro días al inicio y menos frecuente después. A medida que avanza el proceso, la pila se va encogiendo debido a la compresión y al metabolismo de los microorganismos. También las temperaturas máximas interiores van a ser cada vez menores con los volteos sucesivos (Navarro, sin año).

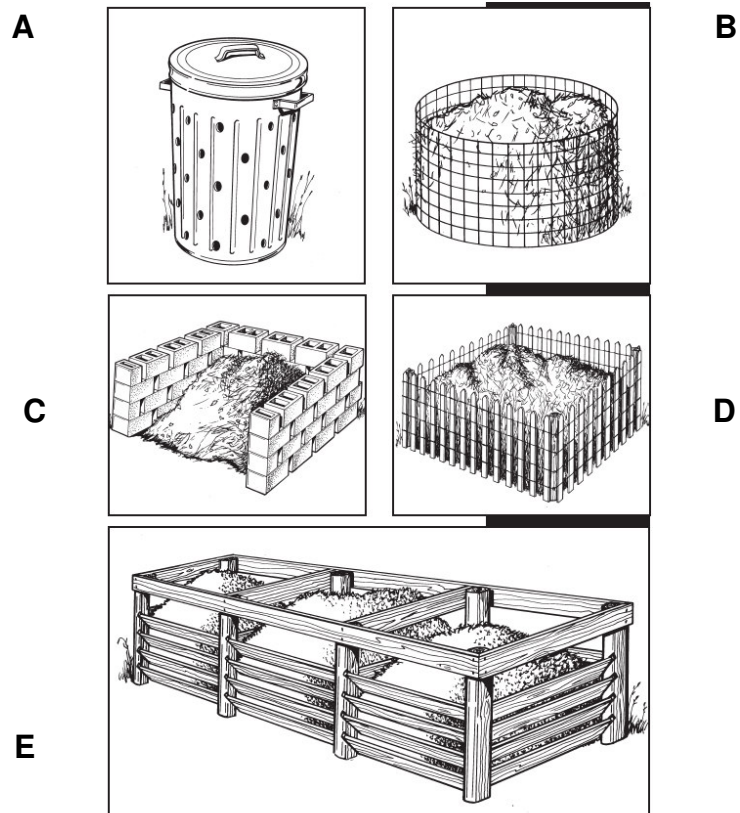


Figura 97. Receptáculos para composta, se pueden elaborar utilizando los materiales disponibles A) Bote de basura, B) malla, C) ladrillos, D) postes y alambre, E) tablas de madera (USAID, 1999)

Tabla 87. Posibles problemas y soluciones para la elaboración de composta (Navarro sin año)

Sintoma	Posible problema	Solución
Malos Olores	Demasiada humedad Requiere más aire Exceso de materia con alto contenido de nitrógeno	Agregar materiales secos, mezclar la composta para crear espacios de aire y agregar materiales con alto contenido de carbono
Olor a Amoniaco	Demasiados materiales verdes, la relación C/N no está balanceada	Mezclar la composta y agregar materiales secos
Proceso muy lento	Partículas de composta demasiado grandes	Cortar pedazos no mayores de 20 a 25 cm y agregar material compostado
La pila no se calienta	Falta de nitrógeno, el área superficial de la composta puede ser muy pequeña	Agregar materiales con nitrógeno Crear una pila más grande
Centro seco	Falta de agua	Agregar agua cuando se mezcla la composta

La composta producida con los desechos orgánicos domésticos, puede utilizarse para la plantación de árboles y para el cultivo de hortalizas en los huertos de traspatio (ver capítulo 6.5.4.3.1) ya que mejora la calidad del suelo. El valor nutritivo de la composta puede ser menor que el fertilizante químico; sin embargo, su liberación es lenta y suministra los nutrientes a las plantas cuando se van necesitando. Los materiales en la composta que no hayan sido procesados como pedazos de ramas, deben ser colocados de nuevo a la pila de composta.

6.6.2.2 Separación de residuos sólidos

La promoción de la regla de las tres “R” en el manejo de los residuos sólidos consiste en reducir, reusar y reciclar (EPA; 2007).

Reducir se refiere a disminuir el volumen de productos que se consumen, así como todo lo que provenga de recursos naturales no renovables, incluida la energía.

Se debe evitar en lo posible el exceso de empaques, de bolsas plásticas, uso de productos de limpieza que sean tóxicos, juguetes que lleven pilas o baterías, objetos descartables fabricados con unicel.

Se deben utilizar bolsas de papel reciclado, comprar juguetes a cuerda o manuales, elegir productos de limpieza que no sean tóxicos ni agresivos para el ambiente.

Reusar se refiere a volver a utilizar los productos. De esta forma se genera menos residuos y se utilizan menos recursos naturales no renovables. Elegir productos reusables, envases retornables, vajilla reutilizable (platos, cubiertos, vasos).

Reciclar consiste en volver a usar los materiales ya utilizados, para que formen parte de nuevos productos similares. Al reciclar se disminuye el volumen total de residuos, se ahorra energía, se ahorran recursos naturales (árboles, petróleo, gas, carbón, metales, etc), se reduce la contaminación de agua (mucho menos

cantidad de agua es necesario para reciclar un producto que para producirlo a partir de materiales vírgenes), se reduce también la contaminación del aire ya que hay menos emisiones gaseosas en el proceso de reciclar (Granado, 2003).

Tabla 88. Clasificación de los residuos según su origen (Granado, 2003)

ORIGEN	TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS
Doméstico	Restos de comida, materiales plásticos, papeles, cartones, textiles, cuero, madera, goma y residuos de jardín. Materiales de vidrio, aluminio, cerámica, metales féreos, latas y suciedad proveniente del barrido e higiene general.
Comercial	Papel, cartón, plásticos, restos de comida, metales, vidrios, latas, suciedad, maderas
Institucional	Papel, cartón, plásticos, restos de comida, metales, vidrios.
Construcción y Demolición	Maderas, hormigón, acero, ladrillos, piedras, materiales para conexión de electricidad, gas y agua y escombros en general. Vidrios rotos, aceros de reforzamiento y plásticos.
Servicios Municipales	Barrido de calles, basuras de las calles, residuos de poda del arbolado urbano, animales muertos y automóviles abandonados.
Plantas de Tratamiento e Incineradoras	Fangos o barros que no contengan residuos especiales. Ceniza o rechazo: materiales derivados de la quema de madera, coque, carbón y demás elementos combustibles. Materiales finos y no sedimentables, cenizas, escoria, vidrios, cerámicas y elementos metálicos.
Industrial	Metales, plásticos, tejidos, fibras, maderas, vidrios, papel, cartones, chatarra, residuos de alimentos, cenizas, etc. Todos estos no especiales o peligrosos.
Agrícolas	Rechazos de la plantación y cosecha de cultivos y árboles, producción de leche, cría de animales, etc.

La tabla 89 muestra la descripción de los residuos sólidos clasificados y su tratamiento en el hogar para su posterior acopio y tratamiento o reciclaje.

Tabla 89. Descripción de residuos sólidos clasificados (No mas basura , 2007)

Material	Descripción	Tratamiento
Papel y cartón	hojas, periódico, revistas, cajas de cartón, tetrapack,	Acomodarlo plano y desdoblado
Vidrio	botellas, frascos	Enjuagado y seco; no es recomendable romperlo
Plástico	bolsas, envolturas, unicel, cubiertos y platos desechables, charolas, bolsas metalizadas	Limpio y seco
PET	Envases de refresco, agua, detergentes, cloro, etc..	enjuagados, aplastados y colocarles su tapa
Metal	Latas, tapaderas, corcholatas	A las latas enjuagadas se les quita el fondo aplanarlas y así ocupar menos espacio.
Aluminio	Latas de aluminio (refrescos, cervezas)	Aplanadas
Sanitaria	algodón, toallas sanitarias, pañales desechables, gasas, colillas de cigarro, etc.	Estos materiales se dan en muy baja producción y no son reciclables

Tabla 90. Empresas que se dedican al reciclaje de residuos sólidos en Quintana Roo (datos de 2006) (Montes, por publicar)

Empresas de manejo de residuos	Residuos Manejados	Ubicación
Grupo MAREMEX	Plásticos, metales, vidrio, cartón	Playa del Carmen
Eclipse polímeros	Plásticos	Cancún
Daniel Barajas	Cartón y PET	Cancún
Gonzalo Fabro	Metales	Cancún
Grupo Delfín	Plásticos y metales	Cancún
Parque Kaba Cancún	Pilas	Cancún

La participación comunitaria es necesaria para aplicar la regla de las “tres R” y así poder minimizar la cantidad de residuos. Esto se logra a través de programas de educación y concientización para dar a conocer a la sociedad cual es la forma adecuada de manipular los residuos sólidos dentro del hogar y de que manera almacenarlos hasta su recolección. Ya que en la zona de estudio no existen contenedores de acopio en la tabla 90 se encuentran las empresas que actualmente están trabajando en el reciclaje de los diferentes materiales.

6.6.3 Conservación de áreas de captación y selvas

6.6.3.1 Promoción de huertos de traspatio

El huerto de traspatio es una antigua técnica agrícola muy valiosa en el cultivo de recursos naturales para el consumo familiar. Proporciona una gran cantidad y variedad de productos y sólo se requiere de un solar o traspatio en la casa, disminuyendo la alteración del medio natural aledaño.

El pueblo maya tenido conocimiento sobre su medio ambiente, desarrolló clasificaciones para suelos, plantas y animales. Este importante conocimiento hizo que crearan varias técnicas agrícolas, como el tradicional solar siendo los más representativos de Mesoamérica y han perdurado a lo largo de cientos de años en las costumbres rurales.

Consiste en un pedazo de tierra (menor a una hectárea generalmente) donde se cultivan árboles frutales, maderables, ornamentales, para leña y resinas, además de hortalizas para autoconsumo. También se crían animales domésticos o de corral que representan un excelente complemento alimenticio para las familias.

Los huertos son reservas de plantas cultivadas y, por lo tanto, una forma de conservar especies vegetales. Pueden apoyar en el repoblamiento de una gran variedad de árboles. De ahí la importancia de conservar o recuperar esta técnica de cultivo tradicional, para evitar la destrucción de los ecosistemas de la región mesoamericana.

Una gran variedad de especies vegetales de los huertos mesoamericanos se han utilizado durante años, por lo que son una riqueza de recursos (más de doscientas especies), con valor alimenticio, medicinal, maderable, textil, ornamental, ritual y otros. Así mismo, la mayor parte de estas especies son plantas adaptadas a la región y casi todas son las mismas en los diferentes países de Mesoamérica.

En el apéndice II se incluye una relación de las especies más comunes que se encuentran en los huertos de México.

Las causas de la desaparición de los huertos han sido el desarrollo urbano, problemas de tenencia de la tierra o el uso de técnicas agrícolas inadecuados. Pero en la península de Yucatán, en particular el área maya, aún existen huertos. Para resolver y evitar estos problemas, conviene conocer muy bien la composición vegetal del huerto, valorar esta técnica tradicional y lograr así un aprovechamiento adecuado de la naturaleza.

En Quintana Roo, al huerto de traspatio se le conoce más como solar, aunque es más que un traspatio, ya que no sólo sirve para sembrar plantas de ornato y árboles de sombra que hagan lucir mejor la casa, en realidad, el solar es un espacio que se ha elegido para que ahí viva una familia. Es en este terreno donde se construye una casa y una cocina aparte. Además se destinan áreas para los animales domésticos, como el zooy o gallinero, las porquerizas rústicas y el dormitorio para palomas. Otros espacios del solar son los que la familia determina para sus actividades domésticas y almacenar el maíz.



Figura 98. Huerto de traspatio (ILCE, sin año)

Por lo general, los solares están limitados por una albarrada de piedras con una altura de un poco más de un metro. Cada solar está organizado por áreas: algunas de uso constante y otras de menor aprovechamiento.

Las áreas de mayor uso están cerca de la casa-habitación y en ellas se realizan las labores domésticas y estas son: lavadero, las porquerizas, los corrales de

aves y los espacios para los perros, los lugares de juego para los niños, para hacer pib (en hornos bajo la tierra), cultivar árboles frutales, hortalizas y plantas medicinales y ornamentales. Esta zona siempre está aislada por una albarrada pequeña que divide al solar en dos partes.

El koloxché (significa palos entrelazados) de no más de 200 m² se encuentra cerca de la casa y se protege con piedras, aprovechando de un lado la albarrada del solar y el resto con palos y piedras. Los palos sirven para proteger a las plantas medicinales, comestibles u ornamentales de los animales del solar.

Es común encontrar escasez de suelo en el lugar donde se establezca el koloxché, y la práctica común es acarrear tierra negra del monte o de la parte trasera del solar, pero el promover la utilización de los baños secos composteros (mencionado anteriormente en el capítulo 6.5.4.1.2) y la elaboración de composta (6.5.4.2.1) se tendrá tierra de muy buena calidad sin necesidad de recurrir a la tierra de la selva. Con la tierra de composta se hacen "camas" con una altura de diez centímetros, rodeadas de piedras chicas donde se siembran principalmente hortalizas.



Figura 99. Koloxché (ILCE, sin año)

El chan wol kot es otro espacio pequeño (uno a dos m²) dentro del solar para reproducir y proteger plantas; quiere decir "círculo de piedras". En ocasiones se construye primero el chan wol kot para proteger algún árbol de cítricos, coco o plátano. Luego puede agrandarse para aprovechar mejor ese espacio protegido. El suelo del wol kot puede enriquecerse con composta y orina fermentada. Y

dependiendo de las plantas que se hayan sembrado, debe regarse diariamente o de vez en cuando, aprovechando el agua gris tratada.

El wol kot se aprovecha para sembrar árboles frutales, hierbas medicinales, plantas ornamentales y ocasionalmente vegetales comestibles. Y una vez que los arbolitos crezcan y tengan la fortaleza suficiente para resistir, podrán quitarse las piedras del círculo protector.

El ka'anche' representa una de las técnicas hortícolas más atractivas de la cultura maya y de mayor tradición familiar.

Para hacer un ka'anche' se requiere de una "cama" de tierra, que se prepara con palos de diferente especie y un plástico con orificios. El relleno es de tierra (de composta), que se arregla con ceniza y se abona con estiércol de animales o fertilizante de orina, hasta alcanzar un espesor de quince centímetros. Finalmente la "cama" se coloca a una altura de un metro y medio, con una extensión que depende de las necesidades y posibilidades de la familia.



Figura 100. Ka'anche'se (ILCE, sin año)

En este espacio se reproducen plantas comestibles, principalmente hortalizas, para el consumo familiar y ocasionalmente para comerciar. Otra función del ka'anche' es servir de semillero de frutales, que más tarde se trasplantan al wol kot o directamente al suelo del solar.

Regularmente se construye muy cerca de la casa, para facilitar su vigilancia. Cada año lo construyen a fines de octubre para aprovechar sus productos tres semanas después y hasta el mes de julio del siguiente año

Las especies cultivadas en ka'anche' son cebolla, cebollino, cilantro, repollo, tomate, chile habanero, ya'axik, sisal, yerbabuena, ts'almuy, chi-nance, china, limón.

Otras áreas de mayor manejo son los lugares donde se siembran distintos árboles frutales, luego de haberlos crecido en el wol kot. Generalmente se escogen los lugares cercanos a la casa para distribuir los frutales, ya que es el centro de las actividades del solar. Así se puede cuidar su crecimiento y controlar los cortes de frutos cuando estén maduras.

La cantidad de árboles cercanos a la casa depende de la necesidad de luz que requiera la vivienda y sus alrededores. Ante todo debe procurarse que llegue luz directa al techo de la casa, para que en época de lluvia las hojas de guano no queden húmedas y se pudran, y el suelo de los alrededores seque rápidamente y evite que los animales hagan lodazales.

Regularmente en los sitios donde se siembran frutales crecen plantas que proliferan mucho y aparecen después de los cultivos. Estos vegetales son muy importantes ya que, por su gran cantidad, ayudan a formar y enriquecer la tierra cuando mueren. Además, fijan el suelo y evitan la erosión que ocasionan las lluvias y el viento, ya que la capa de tierra es muy delgada en la región.

Varias de estas plantas son de gran utilidad por ser medicinales, como las siguientes: chan iko, xjobon k'aan', plátano xiw, sak-muy, ka'anan, puut baalam, ek'balam, xana mukuy, carbesanto.

Es necesario que las áreas de mayor uso del solar se limpien por lo menos una o dos veces al año, así como las orillas de la albarrada.

Sin embargo, hay una fecha especial en que se acostumbra la limpieza de estos sitios, que es la víspera del día de muertos. En cuanto es posible, los señores o los hijos quitan la hierba una semana antes de esa fecha, y después de dos o

tres días es quemada. "Los difuntos deben recibirse con la casa limpia y arreglada", dice la gente.

Durante la época de secas, que es de noviembre a mayo, no es necesario limpiar el solar, pero sí durante las lluvias de julio. Aunque si las hierbas crecieron demasiado e impiden el paso de la gente, entonces será necesario limpiar el solar. Las otras áreas se ubican en un espacio más amplio, y ocupan poco más de la mitad del solar.

El solar tiene también otros espacios, de uso menos constante que se localizan en la parte más alejada de la casa. Su tamaño puede variar de 450 a 1200 m², lo que muchas veces resulta la parte más grande del solar.

Regularmente esta zona parece que tiene un pedazo de monte dentro del solar, porque muchas plantas son las mismas que hay en la vegetación silvestre de la región. Y aunque no se siembra nada en estos lugares, se aprovecha lo que hay. Pero es necesario controlar las plantas que no sirven de mucho y dejar que las útiles crezcan y se reproduzcan.

Muchas veces se utilizan arbustos y arbolitos de ramas delgadas para elaborar el koloxche´ o el zooy para los animales. También llega a cortarse algún árbol para la fabricación de utensilios de cocina, la reparación de la casa o para obtener leña. En estos sitios de menor manejo, se aprovechan tanto las plantas medicinales como las melíferas, que son fuente de miel para las abejas kole cab. También estas partes del solar dan sombra y alimento a los animales, principalmente gallinas y cerdos.

Además, dependiendo de dónde esté ubicada la casa del solar, a estos lugares suele ir a defecar la familia, al aire libre; es necesario implementar el uso de los baños secos composteros, no solamente por mejorar las condiciones sanitarias de la familia si no también por la necesidad de tener una fuente de tierra y fertilizante para el cultivo de la plantas y hortalizas.

Los lugares de menor manejo llegan a separarse de los sitios de mayor actividad por una albarrada intermedia. Así se impide el paso de los cerdos, manteniéndolos en el área que se haya destinado para la cría (ILCE, sin año).

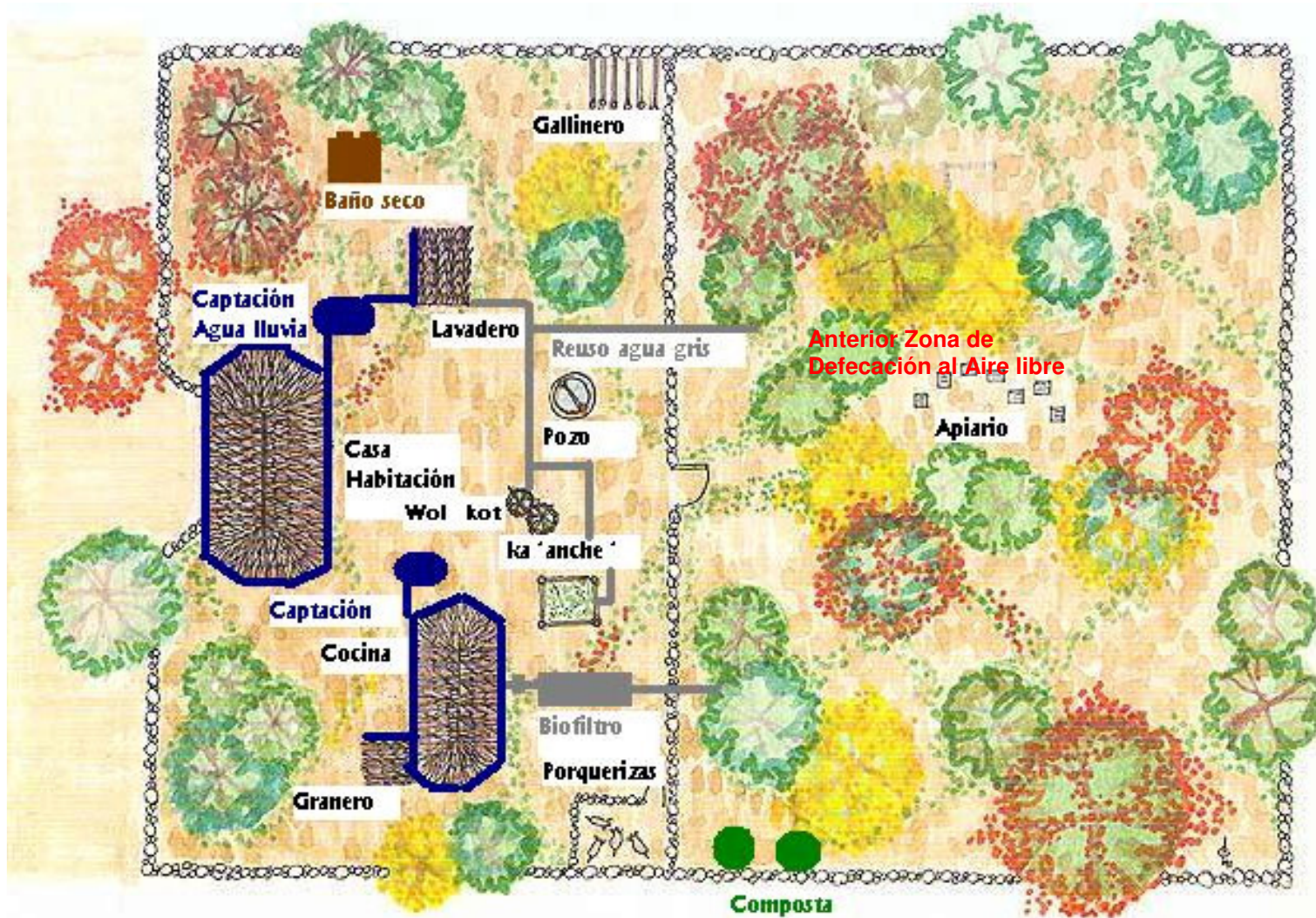


Figura 101. Esquema de solar con sistema integrado de manejo del agua y saneamiento (modificado de ILCE, sin año)

6.6.3.2 Estufas ahorradoras de leña

Debido a que en las localidades de Francisco Uh May, Macario Gómez y José Ma Pino Suárez el 90, 97 y 68% respectivamente de las viviendas cocinan con leña (Tabla 17), es muy importante difundir el uso de las estufas ahorradoras de leña ya que estas no solo reducen el consumo de leña, sino que también permite el cuidado de la salud de mujeres y niñas y apoyan en el mejoramiento de la vivienda.

Tabla 91. Uso de leña en comunidades rurales en Quintana Roo (UQROO, 2002)

Leña	Para cocer la comida, cocer el nixtamal, calentar agua y hacer pib (horno subterráneo) de vez en cuando	Prefieren cierto tipo de maderas ya que tardan más en consumirse, tales como el ciricote (k'opte').
------	---	---

Esta tecnología sencilla el mejoramiento de la salud de mujeres y niñas por la exposición constante a la combustión de la leña, reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y oftálmicas.

- Reducción de accidentes caseros producidos por el fogón tradicional o de tres piedras, en los miembros más pequeños de la familia.
- La reducción en el consumo de leña de hasta el 60%
- Reducción del impacto a las zonas forestales
 - Recuperación de factores ambientales como masa forestal, fragmentación de hábitat y erosión del suelo.
- Fomentar la capacitación de la población, principalmente de las mujeres en el uso y manejo sustentable de los recursos naturales
- Mejoramiento a la vivienda, reduciendo el hollín al interior de la cocina Incrementar el nivel de las familias de más bajos recursos a disminuir el tiempo y dinero destinados a la obtención de leña y a reducir los riesgos de contraer enfermedades respiratorias (UNACH, 2007).

Algunos beneficios adicionales son:

- Reducción de jornales en la búsqueda y corte de leña
- Reducción de tiempo dedicado a cocinar, pues con el modelo propuesto
- Se pueden cocinar tres cosas al mismo tiempo (Tehuitzil, 2006)

Las estufas ahorradoras de leña se basan en una combinación de materiales locales y materiales pre-fabricados como ceniza, aserrín o viruta, tierra arcillosa, cal, arena fina, tabiques rojos y tubo y codo metálico. Aún cuando se utilizan materiales como los tabiques rojos, cal, arena fina y los tubos metálicos el precio de cada estufa ahorradora no rebasa los \$150.00 (Tehuitzil, 2006).



Figura 102. Estufa ahorradora de leña (Tehuitzil, 2006)

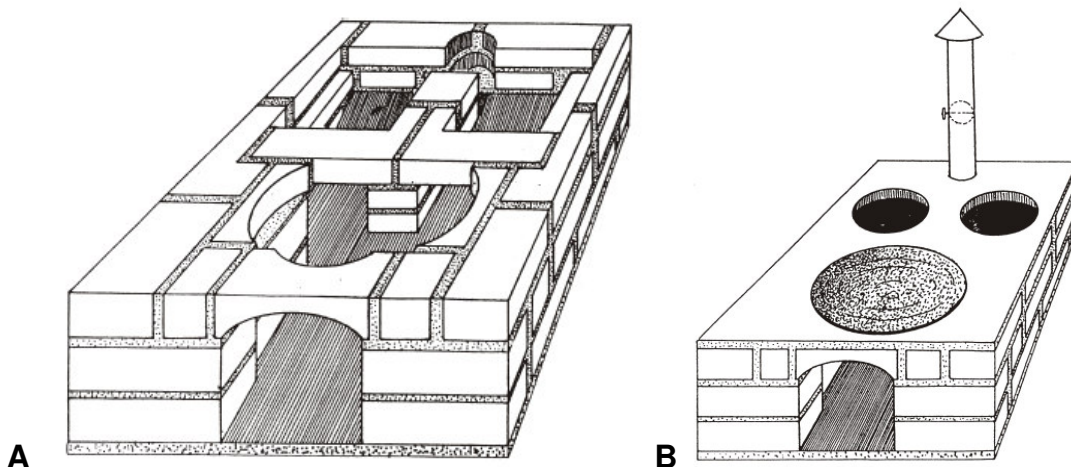


Figura 103. Diseño de la estufa ahorradora de leña (Vázquez, 2004) A) base de la estufa B) estufa terminada

Los materiales para construirlas son fáciles de conseguir y accesibles, siendo 20 ladrillos enteros de 30x15x7 cm, barro crudo, 15 ladrillos con cortes especiales, barro crudo, una y media cubetas de barro o tierra arcillosa, tres kilos de cal, dos kilos de arena, dos kilos de aserrín, un kilo de cemento, una chimenea de lámina galvanizada (tres tubos de cuatro pulgadas, dos codos de cuatro pulgadas y un sombrero o protector de lluvia de cuatro pulgadas) (Vázquez, 2004).

La base en donde se va a construir la estufa debe reforzarse y emparejarse si ya existe. Si es nueva, debe tener un tamaño mínimo de 1.30 metros de largo por 1.30 metros de ancho, la altura dependerá de la estatura de la usuaria y los materiales a utilizar dependerán de los que tengan accesibles en el hogar rural (tablas, palos y block) (Vázquez, 2004)

Se le agrega agua a la tierra arcillosa, para hacer una mezcla semejante al lodo, luego se le agrega el pasto picado o aserrín y arena. Esta mezcla se amasa hasta que tenga una consistencia adecuada. Luego se procede a formar los ladrillos con las siguientes medidas: 30 centímetros de largo; 15 centímetros de ancho y siete centímetros de alto o espesor, usando moldes de madera. Se dejan secar los ladrillos al sol por varios días y se aprovecha para hacer los cortes necesarios. Para el tercer nivel se requiere la mayor cantidad de ladrillos

cortados, como se ve en la figura 103 A, en la pared de atrás se necesitan dos ladrillos con un corte redondo (para apoyar la chimenea); dos ladrillos con cortes transversales (15 cms de largo; siete cms de ancho y siete cms de alto) para las paredes laterales; dos ladrillos en forma de L (para las paredes laterales); un ladrillo en forma de arco, que se coloca al frente para definir la entrada de la leña y sostener el comal. Guardar pedazos y puntas sobrantes de los cortes para rellenar espacios libres (Vázquez, 2004).

La chimenea se coloca en el último orificio, elevada a varios centímetros de la rampa, y se pega con suficiente mezcla de lodo y cal para que la unión quede bien reforzada, tener cuidado de dejar una amplia apertura para que el humo y el aire caliente puedan entrar y circular adecuadamente. La chimenea debe sobrepasar el techo de la cocina o ser sacada por una pared (Vázquez, 2004).

1. Dejar secar la estufa por tres días antes de encenderla por primera vez.
2. Encender la estufa durante 10 minutos, por tres o cuatro días, antes de que empiece a funcionar totalmente.
3. Cuidar, remojar y repellar frecuentemente la estufa durante los primeros 10 días, todos los días.
4. Reparar rajaduras.
5. Limpiar la chimenea cada seis meses.
6. La chimenea debe salir totalmente de la cocina.

Existe el programa de Subsidios del Programa de Equidad de Género, Medio Ambiente y Sustentabilidad de la, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el cual otorga apoyos para la construcción e instalación de las estufas ahorradoras de leña.

7 DISCUSIONES

7.1 Caracterización de la cuenca

La cuenca Tulum utilizada para delimitar el área de estudio, aún cuando pertenece a la delimitación de microcuencas establecida por la Universidad Autónoma de Querétaro, se denominó como cuenca y no microcuenca por su extensión la cual entra en la clasificación de Cuenca Intermedia-Grande. La gran extensión de las cuencas en Quintana Roo se debe al relieve escalonado, descendente de poniente a oriente, con reducida elevación sobre el nivel medio del mar característico de la Península de Yucatán. Esta delimitación se utilizó solamente como una manera de definir los límites del área de estudio ya que se pensó en un principio trabajar a nivel municipio pero debido al ser esta una extensión muy grande, a la falta de datos y a la necesidad de analizar la utilización de las delimitaciones de cuenca en términos de manejo. Es evidente que esta delimitación no es útil para trabajar y se necesita explorar alternativas de unidades de manejo que integren las estructuras de flujos de agua subterráneas costeras.

Las características y procesos que ocurren en la cuenca se definen en gran medida por los factores ambientales, al ser una zona con un clima calido-subhúmedo con elevada precipitación y evapotranspiración, permite el desarrollo de selvas medianas bien conservadas, las condiciones cársticas, la falta de ríos subterráneos y la presencia de los flujos hídricos subterráneos y un suelo delgado no apto para el desarrollo de la agricultura, provoca que las comunidades rurales, con mas 70% de maya hablantes y rancherías de la cuenca sean pequeñas debido a la falta de alternativas económicas en la zona y tengan que migrar a los centros turísticos del estado para trabajar. Sin embargo se observa un comportamiento totalmente diferente en la zona costera, en la que la ciudad de Tulum presenta condiciones de desarrollo mayor, debido al crecimiento de la industria turística, a la mayor oferta de empleo y la buena

comunicación de este centro de población con la Riviera Maya y Cancún. Este desarrollo se da sin las condiciones de infraestructura y servicios básicos necesarias para evitar el deterioro del medio ambiente. La falta de drenaje y sistemas de tratamiento, de rellenos sanitarios adecuados, aunados a que es una zona de huracanes y la proximidad del manto freático, a la pequeña franja de dunas costeras entre los humedales y la costa hace que la contaminación del acuífero y sobre explotación de este sea una amenaza constante. La falta de servicios de educación media y media superior y servicios médicos especializados, hacen que los pobladores de las comunidades rurales tengan que desplazarse a ciudades como Playa del Carmen para recibir estos servicios. En épocas de huracán, las poblaciones quedan incomunicadas y sin servicios por semanas dependiendo de la magnitud del meteoro, ya que el servicio de electricidad se suspende lo que conlleva a escasez de agua.

Al ser la cuenca Tulum la zona de influencia norte de la RBSK, considero que el desarrollo que se lleve a cabo en esta zona, tendrá una influencia negativa en la Reserva misma y en los arrecifes que reciben las descargas de agua dulce del continente.

La metodología de caracterización de una microcuenca descrita en los PRPC, es una herramienta útil para conocer las características y procesos que ocurren en la microcuenca, aunque el orden de los temas como se describen en el PRPC fue modificado por que una descripción de este tipo va de lo general a lo particular siguiendo una estructura lógica.

Esta caracterización puede ayudar a los tomadores de decisiones a conocer mejor la zona en la que están trabajando por lo que es importante darla a conocer y con el tiempo actualizarla ya que el desarrollo, sobre todo costero, se está dando rápidamente.

7.2 Estudio Hidrológico

Las comunidades en la cuenca Tulum en este momento, dependen para su funcionamiento, del agua que se extrae del acuífero. Esta agua se utiliza principalmente para cubrir las necesidades domésticas y el consumo por habitante es mayor al promedio estipulado por la CNA en otras entidades de 100 litros por persona por día, llegando a ser de 400 litros por persona por día en comunidades como Macario Gómez. Siendo una región con elevada precipitación (1166 mm/año promedio anual) y elevada demanda de agua por las elevadas temperaturas que se pueden presentar (mayores a 30°C en verano), es necesario diversificar las opciones de abastecimiento de agua para disminuir la presión sobre la extracción de agua del acuífero, sobre todo en regiones cercanas a la costa donde la intrusión salina es una amenaza importante.

Para establecer en donde se encuentra el agua disponible para su utilización, la evaluación de los recursos hídricos requiere una correcta estimación del balance hidrológico o de la repartición de la precipitación entre evapotranspiración, escorrentía y recarga de los acuíferos. La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca (Llorens 2003). Los resultados muestran que el 86% del agua podría estar disponible de la lluvia se evapotranspira, el siete por ciento se escurre siendo este valor bajo por la pendiente menor al dos por ciento en la zona y el 6.25% se infiltra.

Resalta, en los resultados del balance hidrológico, el que se tenga una infiltración de menos de 100,000 m³/año y que la extracción para la zona sea de 1 millón de m³/año, lo que parecería que el acuífero se está abatiendo y exista

una intrusión salina grande, o que el acuífero tiene un flujo regional importante y que la zona de recarga no es necesariamente la zona de estudio.

El almacenamiento de agua no es una práctica común y representa un problema ya que la población se encuentra sujeta al funcionamiento de bombas para su abastecimiento, además en época de huracanes, la falta de este servicio provoca un serio problema sanitario y de contaminación.

Otro elemento que incrementa la contaminación del acuífero es el manejo inadecuado de los residuos sólidos, aún cuando el sistema municipal de recolección tiene una ruta definida para dar servicio a la población, este servicio es intermitente, provocando que los residuos sólidos sean dispuestos en las selvas, cenotes o terrenos baldíos, observando en recorridos en campo inclusive a camionetas de la policía municipal llevando tambos con residuos a tirar en los terrenos. Otra práctica común es la quema de basura.

Para determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se utilizaron varias metodologías como DRASTIC y SINTACS, esta última fue la más adecuada por que a diferencia de Método DRASTIC, SINTACS, dependiendo de las características particulares de la red de drenaje el acuífero hace una diferenciación en tres tipos: con drenaje disperso y poco jerarquizado; con jerarquización parcial pero todavía con drenajes interdependientes; y con algunos drenajes dominantes y jerarquizados. Las condiciones naturales geohidrológicas del área contribuyen a aumentar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Existe una pequeña capa de suelo, que provee poca capacidad de filtración de contaminantes, el acuífero se encuentra en un medio cárstico poroso y a poca profundidad (de cinco a 17 m), con conductos de disolución, cuevas y cavernas, fracturas y fallas, creando un complejo sistema subterráneo. La pendiente menor al dos por ciento con un escurrimiento del siete por ciento del agua precipitada, aumenta su vulnerabilidad a la contaminación. Es poco posible remediar un acuífero cárstico como el de la Península de Yucatán

lo cual hace del riesgo de contaminación una situación crítica (Escolero *et al.*, 2002). Los acuíferos cársticos son complejos de estudiar, ya que es difícil obtener información sobre la localización de los conductos subterráneos al igual que tener una descripción detallada de las características sub-superficiales.

Es evidente que es necesario desarrollar y afinar los modelos para estimar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Aun cuando el modelo SINTACS no está bien ajustado, por falta de datos disponibles del área de estudio, los resultados mostrados en el capítulo 6.2.3.2, pueden ser muy útiles para mostrar la fragilidad de la franja de los primeros 10 km de la costa hacia el centro de la Península, la relevancia de esto radica en que, es en esta zona donde se plantea el desarrollo urbano y turístico, siendo de vulnerabilidad extremadamente alta a la contaminación y que además el acuífero es la única fuente de abastecimiento de agua que se utiliza actualmente.

Los modelos anteriores no incluyen la amenaza de la presencia de contaminantes en la zona. Pero es necesario mencionar para esta zona que, es de suma importancia el manejo de los residuos sólidos, la remediación en los tiraderos a cielo abierto por la cercanía que estos tienen con los pozos de extracción y el acuífero en si.

Al afectarse la calidad del agua en su constitución física, química y bacteriológica, este conjunto de características proporcionan el tipo de agua y determinan el uso adecuado de la misma. El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere que el agua cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Existen diferentes parámetros que afectan la calidad del agua de los pozos de

extracción como el color del agua la cual debe ser incolora, pero no sucede lo esto para el pozo cuatro de Tulum la cual puede estar colorida debido a la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), humus, materia orgánica y contaminantes domésticos.

El olor y el sabor en el agua para uso potable deben ser ausente y agradable respectivamente. El sabor característico y el olor que se presenta en los pozos de Tulum pueden ser de origen orgánico o por la constitución inorgánica del agua. Los cloruros en concentraciones mayores a 300 mg/l (como es el caso de José Ma. pino Suárez y cinco pozos de Tulum) comunican un sabor salado al agua de beber. El parámetro de turbiedad se encuentra en niveles aceptables para todos los pozos evaluados.

La conductividad eléctrica del agua muestra valores elevados, salvo el pozo cuatro de Tulum, debido a que el agua de los pozos se encuentra en contacto con el medio cárstico y por lo tanto son los iones producto de la disolución de los carbonatos (Neuman & Rahbek, 2006) los que tienen la habilidad de transmitir la corriente eléctrica.

La temperatura en general de las aguas subterráneas es poco variable, es más constante cuando mayor es la profundidad del acuífero. En acuíferos cársticos, las variaciones de temperatura siguen de cerca de las aguas de alimentación debido a la gran velocidad del agua y poca superficie de contacto con el terreno (ASK, 1998).

Las concentraciones de cloruros en el pozo de José Ma. Pino Suárez y cinco pozos de Tulum sobrepasan el límite máximo permisible esto puede ser ocasionado por que la fuente más importante de cloruros son asociadas con rocas sedimentarias particularmente evaporitas (CONAGUA,1999), también puede presentarse intrusión salina y descarga de tipo doméstico debido a la falta de drenaje, aunque existiría la presencia de amoniaco en el agua si fuera

causado por este último indicando una degradación parcial de la materia orgánica, pero los niveles de amoníaco son muy bajos.

En aguas subterráneas el nitrato parece ser la forma significativa del nitrógeno que entra a los sistemas de agua de muchas fuentes, debido a la descomposición de la materia orgánica y desechos, escorrentías de agua superficial y uso de fertilizantes nitrogenados (Grupo TAR, 2006). En los resultados del monitoreo de calidad del agua los nitratos se encuentran por debajo de la norma oficial mexicana. De igual forma las concentraciones de sulfatos y fluoruros se encuentran por debajo de la norma lo cual no representa un problema.

Los pozos cinco y seis de Tulum rebasan la norma para sólidos disueltos totales por 300 y 400 mg/l respectivamente, esta condición disminuye la calidad del agua. Los pozos restantes se mantienen por debajo de la norma. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (UPRM, 2007). Por esta razón, se ha establecido un límite de 1000 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable.

La dureza total del agua es causada por la cantidad de calcio, en menor grado por la de magnesio y por otras sustancias disueltas en ella. Según el pH y la alcalinidad la dureza superior a 200 mg/l puede dar lugar a incrustaciones. Las aguas blandas, con dureza inferior a 100 mg/l tienen baja capacidad de amortiguamiento y pueden resultar más corrosivas para la tubería. En este caso los valores de dureza total se encuentran muy cercanos al límite máximo permisible por la norma, encontrando para los pozos de Tulum uno, tres, cinco y seis que la superan. Por lo que el agua en esta zona es dura. Aunque en varios estudios epidemiológicos, ecológicos y analíticos se ha observado que existe

una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua potable y las enfermedades cardiovasculares, la información de que se dispone no es suficiente para definir esta relación. El grado de dureza del agua puede influir en la aceptación del consumidor, perceptible en su olor y la aparición de incrustaciones (CONAGUA, 1999). El calcio y magnesio tienen su origen en las formaciones rocosas calcáreas, y pueden ser encontrados, en mayor o menor grado, en la mayoría de las aguas naturales. El calcio y magnesio causan dos principales problemas: 1. Cuando el agua es calentada, ellos se precipitan fuera de la solución, y forman una costra dura, de apariencia rocosa (Sarro). Esta costra acelera la corrosión (arruinando equipos de calefacción de agua), restringe el flujo de agua, y reduce la transferencia de calor. 2. Cuando se combinan con el jabón, reaccionan para formar un cuajo, que interfiere con el efecto de la limpieza, seca la piel, y forma depósitos en cañerías y ropas (COMAPA, sin año).

Las concentraciones de magnesio se observan entre uno y 100 mg/l y si se le encuentra en concentraciones mayores confiere al agua propiedades laxantes y sabor amargo. En la mayoría de las aguas naturales, la concentración de magnesio es mucho más baja que la de calcio. El magnesio es esencial para la nutrición y no es considerado como agente de enfermedades, su concentración es variable y depende de la fuente.

El sodio en aguas dulces se encuentra entre uno y 500 mg/l, siendo el límite máximo permisible el de 200 mg/l como lo establece la NOM 127. La fuente geológica es el principal factor que confiere sodio en el agua. En la mayoría de las aguas, el sodio no es considerado como un factor significativo en la calidad del agua ya que no es encontrado en grandes concentraciones, en donde estas son altas le confiere al agua un sabor salado y es perjudicial para las plantas al reducir la permeabilidad del suelo como aparece en dos pozos de Tulum. El sodio en aguas diluidas, donde la concentración de sólidos totales está por debajo de 1000 mg/l esta generalmente en la forma de ión sodio; La relación de

sodio y el total de cationes es importante en agricultura y patología humana; personas afectadas por ciertas enfermedades requieren agua con bajas concentraciones de sodio.

El potasio en aguas dulces su concentración está entre 0.1 y 10 mg/l, las concentraciones encontradas en los pozos se mantienen bajas. En la mayoría de las aguas naturales su concentración es más baja que la del sodio, no se presentan problemas especiales a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas y se encuentra contenido en las cenizas de estas muchas veces en altos porcentajes. No tiene especial significado en la calidad del agua natural y actualmente es usado como un elemento trazador y como un identificador del origen geológico del agua.

El ión carbonato se encuentra en concentraciones menores que los bicarbonatos y si los niveles de pH son menores a 8.3 se le considera cero (CONAGUA, 1999).

La concentración de bicarbonatos en aguas dulces varía entre 50 y 350 mg/l y puede en ocasiones llegar hasta 800 mg/l. En aguas subterráneas son encontradas algunas veces altas concentraciones que no son comunes, su contenido depende de la fuente geológica y de los valores de pH. La alcalinidad aceptable para las aguas de consumo humano es 30 hasta 500 mg/l como carbonato de calcio.

El manganeso es un metal que ocurre naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas. El manganeso puro es de color plateado, pero no ocurre naturalmente en esta forma. Se combina con otras sustancias tales como oxígeno, azufre o cloro. El manganeso también puede combinarse con carbono para producir compuestos orgánicos de manganeso (ATSDR, 2001). La NOM 127 establece como límite máximo una concentración de 0.15 mg/l, pero solamente se tiene el análisis para dos pozos (José Ma. Pino Suárez y Macario

Gómez) y estos se encuentran por debajo de la norma.

Salinidad es una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Los iones y los elementos presentes en cuerpos de agua naturales se originan de procesos de mineralización y desgaste de las rocas que forman la corteza terrestre. La cantidad de sales en solución afecta varios procesos físicos importantes, así como propiedades importantes del agua y de sustancias disueltas en agua tales como: densidad, viscosidad, tensión superficial, presión osmótica, punto de fusión, punto de ebullición y solubilidad de gases (UPRM,2007). La tabla 62 muestra los rangos de salinidad para diferentes cuerpos de agua, encontrando el agua de los pozos de la cuenca catalogadas como agua salobre oligohalina por tener una salinidad de 0.80-1.83. En cuanto a los parámetros bacteriológicos, se encontró la presencia del grupo coliformes que incluye a todas las bacterias aerobias, anaerobias, facultativas, no esporulantes y en forma de bacilo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas en 24 horas a 35 grados centígrados. Este grupo heterogéneo no sólo está presente en las bacterias humanas, sino que se encuentra en todos los ambientes como son aguas negras, aguas dulces superficiales, suelo y vegetación. En este grupo se encuentran las siguientes:

- *Escherichia coli*, *E. aurecens*, *E. freundii*, *E. intermedia*
- *Enterobacter aerogenes*, *E. cloacae*
- Intermediarios biológicos entre los géneros *Escherichia* y *Enterobacter*

El grupo de coliformes se divide en dos categorías la fecal y no fecal. Esta subdivisión se basa en la suposición de que *Escherichia coli* y otras cepas, estrechamente relacionadas, son de origen fecal, mientras que *Enterobacter aerogenes* y sus relativos más cercanos, no son de origen fecal directo.

La ausencia de coliformes totales es una evidencia de la potabilidad bacteriológica del agua, en tanto que la densidad de coliformes totales es una medida aproximada de contaminación por desechos fecales. Solamente para el pozo de Macario Gómez no hubo presencia de colonias de coliformes totales en

el análisis, siendo el agua que se considera libre de bacterias productoras de enfermedades. El pozo de José Ma. Pino Suárez presentó el número más probable de coliformes más alto en 100 ml de muestra determinado la posible presencia de virus y bacterias patógenas entéricas en las aguas. Lo anterior supera la NOM-127 la cual indica que estas deben de estar ausentes (CONAGUA, 1999).

En cuanto a las coliformes fecales, estos organismos están relativamente ausentes si la contaminación no es de origen fecal. El tiempo de supervivencia del grupo coliforme fecal en agua es más corto que el de los coliformes no fecales, ya que generalmente no se multiplican fuera de los intestinos de los animales de sangre caliente, por lo que una densidad alta de coliformes fecales, indica una contaminación relativamente reciente. Las bacterias coliformes producen enfermedades entéricas como:

- *Escherichia coli* produce dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos y fiebre.
- *Klebsiella* produce enfermedades respiratorias.
- *Citrobacter* produce alteraciones a nivel del colon y a nivel intestinal (Grupo TAR, 2006).

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas generó la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, se desarrolló un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

El índice de calidad del agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de

parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias (León, sin año). Se utilizó el método que se consideró más adaptable a la situación de nuestro país (Dinius, 1987), el cual se encuentra descrito en el capítulo 5.

Adicionalmente a los lineamientos presentados es conveniente analizar en forma individual cada una de las calificaciones de los parámetros con el objeto de establecer si el deterioro se debe a la alta presencia de nutrientes, a la falta de oxígeno, al exceso de presencia de bacterias riesgosas para la salud, etc. En este ejercicio todos los pozos evaluados resultaron en una calidad aceptable y que requieren una purificación menor para el uso del agua como potable, pero es necesario resaltar que todos los pozos salvo el de Macario Gómez son positivos en el análisis de coliformes totales por lo que es indispensable un proceso de Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta para eliminar la contaminación biológica (Bacterias, helmintos, protozoarios y virus) como lo marca la NOM 127 (1994).

Como lo menciona el autor, (León, sin año), la ventaja del ICA es que simplifica y organiza la gran cantidad de datos de que provee el análisis de la calidad del agua, en un marco homogéneo que permite comunicar y evaluar el estado del agua en una forma comprensible y sin una distorsión importante en la información. Aunque cabe mencionar que los datos analizados en este índice son solamente para el año 2005.

En resumen, la calidad del agua del acuífero, utilizada para cubrir las necesidades de la población, la industria turística y los ecosistemas, considero que está amenazada por la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en el Estado. Se requiere estudiar y aplicar tecnologías de saneamiento adecuadas a las características de la zona.

7.3 Diagnóstico de la problemática

En el análisis de la problemática se observó que los problemas que afectan al área de estudio son por una parte falta de oportunidades de desarrollo y alternativas económicas (Suelos inadecuados para agricultura, falta de tecnología agrícola, falta de alternativas productivas) con pérdidas económicas en la comercialización de productos, en las zonas rurales y un acelerado desarrollo en la zona costera sin los servicios necesarios de saneamiento y manejo de residuos, así como de salud, educación y vivienda. Considero que la situación descrita anteriormente, provoca en el aspecto ambiental contaminación y sobre explotación del acuífero, explotación de recursos naturales sin planeación, como es el uso de cenotes sin un control, la deforestación de selva mediana, los incendios, la erosión costera y la intrusión salina y además que la afectación provocada por los fenómenos naturales, como son los huracanes, sea mas intensa.

Las alternativas de solución a esta problemática se describen en la estrategia de manejo hídrico propuesto en el capítulo 6.5 y se discuten en el capítulo 7.5

En este trabajo no se aplicó la metodología participativa del diagnóstico por que no se consideró pertinente convocar a la comunidad a talleres cuando no se conoce si se le dará continuidad a este proceso, pero recomiendo utilizar la información recopilada en este trabajo para presentarla a las comunidades y validarla incluyendo la percepción de todos los actores involucrados.

7.4 Evaluación de la pertinencia de los elementos de la gestión integrada de cuencas para Quintana Roo

Para lograr una gestión integrada de cuencas se requiere la combinación de diferentes elementos y procesos que consideren todos los usos del agua, incluido el medio ambiente, los conflictos entre los usuarios y los usos son resueltos mediante la innovación institucional, la toma de dediciones dentro de la

unidad de manejo con gran participación social (Valencia *et al* 2004). Las principales ventajas de trabajar por cuenca hidrográfica son las siguientes:

1. Aumenta la posibilidad de obtención de resultados positivos y de mayor impacto con las acciones dirigidas a l uso y manejo racional y eficiente de los recursos naturales, en una unidad territorial perfectamente definida con características ambientales y socioeconómicas muy homogéneas.
2. Facilita la visión de los habitantes de manera individual y como comunidad para las interacciones existentes entre la producción y los recursos utilizados para lograr la misma.
3. Permite hacer un manejo y facilitar la interacción entre diferentes temas e instituciones que prestan servicios o tienen injerencia en los trabajos que se realizan en la cuenca (actividades agropecuarias, turísticas, comercio, de dotación de servicios etc.)
4. Facilita y permite optimizar el uso de los recursos financieros, humanos, tecnológicos y materiales en el trabajo de asistencia técnica, investigación, fomento y desarrollo, al tener un espacio geográfico que permite concentrara esfuerzos y voluntades facilitando la coordinación intra e interinstitucional
5. Constituye un ámbito de planeación y ejecución de acciones complementarias y sinérgico con la unidad de producción y la comunidad; en ninguna situación ellos son excluyentes (SAGARPA, 2002).

La delimitación por microcuenca no representa una unidad de manejo para la Península de Yucatán, por lo que se recomienda utilizar unidades de manejo como microregiones establecidas en base a los ejidos o más pertinente aún, una delimitación de manejo enfocada a la estructura hidrogeológica subterránea, o a flujos de agua, principalmente en las zonas más cercanas a la costa. Esta delimitación podría adaptarse una vez que se conozca con exactitud la ubicación, dirección, flujo y punto de emisión de los sistemas de agua subterránea en la zona, ya que actualmente no se cuenta con la información

completa, aunque los trabajos de exploración continúan por deferentes organizaciones como el CINDAQ y los estudios de descripción y modelaje de las aguas subterráneas como los impulsados por Amigos de Sian Ka'an con el Servicio Geológico de Austria y la Universidad Técnica de Austria (Supper et al. 2006, Merediz, 2007).

Se requiere llevar acabo el análisis de la problemática con participación de actores locales. Este trabajo puede servir de base y utilizando la información que se recabó en este trabajo y llevar acabo los talleres participativos y poder Integrar y complementar la participación de todos los actores en el proceso de manejo sustentable y toma de decisiones.

La caracterización biofísica y socio económica ayudo a conocer las características de la zona de estudio y los procesos que en ella ocurren, pero se encontró que es necesario integrar en los elemento descritos por la SAGARPA en los PRPC el componente de Áreas naturales protegidas, vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, el análisis de calidad del agua y los instrumentos de manejo que apliquen a la zona como lo son ordenamientos ecológicos territoriales, planes de desarrollo urbano y programas de manejo de ANPs.

Considero necesario elaborar inventarios de especies de flora y fauna para zonas o ejidos que no pertenecen al sistema nacional de áreas naturales protegidas, para tener información más específica de la zona, sobre todo hablando en términos de endemismos o especies amenazadas, protegidas o en peligro de extinción.

Otra información que es necesario obtener es el Censo Económico pero a nivel de comunidad por que el INEGI únicamente cuenta con esta información a nivel municipal. Los centros de investigación cuentan también con una gran cantidad de información la cual no esta muy accesible la cual no llega a los tomadores de decisiones.

La elaboración del diagnóstico en este trabajo, como se dijo anteriormente fue en base a la información recopilada de PRPCs, instituciones de gobierno y encuestas a pobladores, es necesario presentar el diagnóstico a las comunidades y validarlo completando con sus comentarios lo hasta ahora realizado, todo esto en talleres y a través de un proceso participativo.

Sobre las propuestas de proyectos y alternativas de soluciones aquí descritas, tratan de atender la problemática identificada, pero de igual forma, es necesario llevar a cabo los talleres para presentar estas propuestas en las comunidades, y con las autoridades municipales y ejidales. Corroborar su aceptación y en dado caso incluir nuevas propuestas hechas por los participantes o modificar las ya expuestas.

En cuanto al manejo institucional de los recursos hídricos y colaboración interinstitucional, la política hídrica requiere de la participación coordinada de otras secretarías en el gobierno federal y de los gobiernos locales y usuarios. Es necesario fomentar los talleres participativos ya que si solamente se espera la participación de las comunidades en el seno de los Consejos de Cuencas y sus Comités, muchas veces los pobladores desconocen su existencia y estas reuniones se realizan en Chetumal o Cancún, lejos de donde realmente suceden los problemas. Toda la información recopilada y analizada es necesario que llegue a los tomadores de decisiones para que hagan los planes de desarrollo de manera informada y así se pueda conservar y proteger los recursos naturales.

7.5 Estrategias de manejo integrado del agua y alternativas de saneamiento

El manejo del agua se ha enfocado tradicionalmente en satisfacer las necesidades y deseos de una creciente y cambiante población humana, sin la debida consideración de a las necesidades y límites de nuestros sistemas de

agua dulce. A medida que incrementa la población solo se busca satisfacer las necesidades de agua pero con frecuencia falla en considerar adecuadamente la salud a largo plazo de los ecosistemas de agua dulce para apoyar a las zonas urbanas en crecimiento (TNC, 2007).

La estrategia de manejo integrado del agua busca solucionar la problemática de las comunidades y ofrece una alternativa para el aprovechamiento de las aguas residuales y residuos sólidos además de proporcionar otras fuentes de abastecimiento de agua alternativas a la extracción de agua del acuífero. Sin embargo estas estrategias están sujetas ser adaptadas dependiendo de los cambios que ocurran en la zona de estudio sobre todo en términos de desarrollo ya que, por ejemplo, la construcción de un aeropuerto en la zona traería como consecuencia el cambio en poco tiempo de las poblaciones rurales y rancherías a comunidades urbanas y con esto la necesidad de adecuar la estrategia de manejo del agua en la zona a las condiciones que se presenten.

Los cuatro componentes de la estrategia tienen la finalidad de apoyar a las autoridades en la toma de decisiones y ser una guía de trabajo para las organizaciones de la sociedad civil que pretenden desarrollar proyectos en relación a este tema.

El primer elemento de la estrategia lo integra el objetivo de investigación específica para terminar de conocer y entender el funcionamiento del sistema geohidrológico subterráneo de la Península de Yucatán, es indispensable contar con la información completa y en base a esta poder influir en la toma de decisiones, afinar y desarrollar modelos y prevenir la contaminación del acuífero. El siguiente objetivo para revisar y fortalecer el marco legal en relación al manejo de los recursos hídricos, incluye la revisión del estatus legal para el manejo de los cenotes, aunque la Ley de Aguas Nacionales establece en su artículo seis el cual regula la explotación, uso y aprovechamiento del agua del subsuelo, superficiales y las que hayan sido libremente alumbradas, pudiendo incluir a los

cenotes en este apartado. Explica en su Art. 17 que su explotación y aprovechamiento por medios manuales para uso doméstico no requiere concesión siempre y cuando no se altere su calidad y cantidad. Cuando el aprovechamiento es dentro de ejidos (Art. 55), para asentamientos humanos o para tierras de uso común deberán contar con un reglamento. Cuando el aprovechamiento es par actividades turísticas, podrán llevarse acabo con concesión (Art. 82). En el Apéndice III se encuentra el contenido de los artículos antes mencionados.

De lo anterior se desprende que es necesario para la regulación y el aprovechamiento de cenotes lo propuesto en la estrategia 6.5.2.1.

La estrategia 6.5.2.2 sobre la modificación de los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, necesitan también un trabajo de investigación pero se expuso utilizar los valores propuestos por el trabajo realizado por el CEMDA, como una base y partir de ellos para su análisis y posterior modificación ya que no pueden ser las mismas concentraciones que en el resto del país por que las aguas del continente impactan directamente sobre los ecosistemas arrecifales presentes en la costa del Caribe Mexicano.

En cuanto a la NOM-083- SEMARNAT-2003, que establece que los rellenos sanitarios no deben ubicarse en zona de marisma, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, superficies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicos ni sobre fracturas o fallas Geológicas, ni en zonas de inundación (punto 6.1.5), 500 m con respecto a cuerpos de agua, no menos de 100 a 500 m de pozos, es necesario establecer las zonas de recarga en la Península de Yucatán, si bien en este trabajo se hizo un cálculo con promedios anuales, sería necesario hacer las mediciones en campo con infiltrómetros para poder determinar las zonas de recarga y la ubicación adecuada para los rellenos sanitarios. De igual forma la NOM sobre rellenos sanitario NOM-083 especifica que se debe contar con una barrera geológica natural o equivalente de un metro

de espesor, esta barrera natural puede ser de un material como arcilla pero esta barrera natural de este espesor no existe en la Península de Yucatán. También específica que la conductividad hidráulica debe ser al menos 1×10^{-5} por lo que es necesario hacer las mediciones y contar con esta información ya que no existe, para poder seleccionar los sitios.

Los rellenos sanitarios según la NOM-083 no se pueden instalar en zonas de recarga ni sobre fracturas y fallas geológicas o cavernas, es necesario contar con la información del sistema geohidrológico de la zona para poder tomar la decisión de donde sería más adecuado su instalación.

Para lograr la implementación de los proyectos comunitarios con tecnologías alternativas, es necesario que vayan acompañados de un programa de educación que incluya el concienciar a la población sobre el valor del recurso agua y también dar a conocer las características tan particulares de la geohidrología local para promover su cuidado y conservación. Este programa debe incluir también el manejo adecuado de los residuos sólidos ya que provocan la contaminación del acuífero.

Debido a que las cuatro comunidades tienen un consumo de agua mayor al promedio estimado de 100 litros por persona por día, por que estas se encuentran en una zona tropical y para la comunidad de Macario Gómez y Francisco Uh May, es probable que aunque la concesión de estos pozos es para uso potable de la comunidad también se utilice el agua para dar de beber al poco ganado que tienen, es necesario el tener otras opciones de abastecimiento además del acuífero.

La estrategia para comunidades rurales y rancherías (6.5.4.1) pretende además de aprovechar y reusar el agua en el hogar, dar una alternativa económica a las familias para producir alimentos aprovechando los desechos orgánicos transformándolos en composta y nutrientes para mejorar la tierra para cultivo de hortalizas y árboles frutales.

En las comunidades mayores como Tulum la aplicación de estas tecnologías se ve modificada debido a las condiciones de espacio, pero aún así se pueden implementar tecnologías como el aprovechamiento del agua de lluvia, y tratamiento de aguas residuales por medio de humedales de flujo sub-superficial construidos en módulos adecuados a las necesidades de los usuarios, pero es necesario que se difunda esta tecnología y sus beneficios para incrementar su aceptación y aplicación.

Este manejo integral del agua debe de ir acompañado de un adecuado manejo de residuos sólidos, promover la reducción de consumo de desechables, empaques, el reutilizar materiales y el reciclaje. Existen ya en la Península empresas dedicadas a esto por lo que se necesita la participación y compromiso de la gente para llevarlo a cabo. Existen además en el mercado ya, productos desechables biodegradables y compostables elaborados de gabazo de caña de azúcar, ácido poliláctico y almidón de maíz comprimido, los cuales utilizan para fabricar platos, vasos, cubiertos y popotes biodegradables, tan comúnmente usados, pero los elaborados a base de petróleo, en las zonas turísticas de Quintana Roo.

Siendo que el 70% de las comunidades rurales utilizan todavía estufas de leña para cocinar y hacer tortillas, las estufas ahorradoras de leña son una buena opción, así como la promoción de huertos en el traspatio y no la agricultura en grandes extensiones de selva baja que no tiene las condiciones de suelo apto para este fin. Con estas acciones se pretende no solo mejorar el manejo de los recursos naturales sino también mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta zona.

Uno de los problemas en las comunidades rurales de la cuenca Tulum es la falta de alternativas económicas en cada una de estas poblaciones, por lo que además de los proyectos propuestos y descritos anteriormente se recomienda

Incluir un plan integral de desarrollo turístico sostenible de la zona rural de la cuenca, que permita aprovechar los recursos naturales ya existentes de una manera adecuada.

8 CONCLUSIONES

Las características y procesos que ocurren en la cuenca se definen en gran medida por los factores ambientales presentes. Las áreas de selva bien conservadas, con presencia de comunidades rurales pequeñas en contraste con el desarrollo actual y el proyectado de la industria turística en la zona costera, sin la infraestructura de saneamiento y servicios básicos necesarios, representan una amenaza importante para los recursos naturales (dos áreas naturales protegidas y el sistema arrecifal mesoamericano) y sobre todo los recursos hídricos de los cuales dependen y dependerán los ecosistemas, su biodiversidad y las poblaciones humanas para su buen funcionamiento.

La principal fuente de abastecimiento de agua en la cuenca es el acuífero y su uso principal es doméstico. En base a la estimación del balance hidrológico por promedios anuales históricos en la microcuenca Tulum, del 100% del agua que entra por precipitación, el 86% se evapotranspira, el siete por ciento se escurre y el 6.25% se infiltra.

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación evaluado por el método SINTACS resultó que la franja de los primeros 10 km de la costa hacia el centro de la Península, es extremadamente alta la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y el resto de la Cuenca con vulnerabilidad alta. Es necesario seguir evaluando los métodos existentes para calcular la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y ajustarlo a las características tan particulares de la Península con datos más completos.

La calidad del agua para los nueve pozos de extracción (período 2005) estimada

a través del ICA presenta calidad de agua para uso potable aceptable y dudoso para su consumo sin purificación. Los parámetros que afectan la calidad del agua en los pozos de extracción de las comunidades de la cuenca son presencia de color, sabor, elevada concentración de cloruros de sólidos disueltos totales y coniformes, siendo un agua más bien dura que ya están siendo afectadas por las descargas de aguas residuales domésticas no tratadas.

Los problemas que afectan el área de estudio y sus posibles soluciones se centran en la falta de oportunidades de desarrollo y alternativas económicas y servicios en las zonas rurales y un acelerado desarrollo en la zona costera sin los servicios necesarios de saneamiento y manejo de residuos.

La implementación de los elementos de la gestión integrada de cuencas para Quintana Roo logrará el considerar todos los usos del agua, incluido el medio ambiente, resolver conflictos entre los usuarios y los usos del agua y que la toma de dediciones dentro de la unidad de manejo sea con gran participación social. La delimitación de las unidad de manejo para la Península de Yucatán, deben integrar microregiones establecidas en base a los ejidos y la estructura hidrogeológica y de flujos de agua subterránea, principalmente en las zonas más cercanas a la costa.

El manejo del agua se debe enfocar en satisfacer las necesidades de la población humana, los ecosistemas y los límites de nuestros sistemas de agua dulce. La estrategia de manejo integrado del agua soluciona la problemática de las comunidades y ofrece una alternativa para el aprovechamiento de las aguas residuales y residuos sólidos. Se requiere que dicha estrategia contenga acciones de investigación del sistema geohidrológico subterráneo de la Península de Yucatán; la revisión y fortalecimiento del marco legal en relación al manejo de los recursos hídricos en los puntos establecidos anteriormente; La educación para la promoción de manejo integrado del agua y; la implementación de proyectos comunitarios con tecnologías alternativas eficientes como son la

captación pluvial, baños secos, biofiltros, humedales artificiales, composta, separación y reciclaje, huertos de traspatio, estufas ahorradoras de leña y reforestación.

REFERENCIAS

Bibliografía citada

- Aegos y INRS-Eau, 1997, *Developpement d'outils pour la gestion integrée des usages de la ressource-eau souterraine at application á la región hydrogéologique Nord de Montreal*. Rapport d'activités No 5, 88 p.
- Aller, Linda; Bennett, Truman; Lehr, Jay H.; Hackett, Glen; Petty, Rebecca J.; Thornhill, Jerry, 1987, *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydro geologic settings*. EPA-600/2-87-035. , 445 p.
- ASK, 1998, *Estudio geohidrológico para el diagnostico y evaluación del flujo del Acuífero de la Península de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo*, Ingeniería Ambiental del Sureste SCP, 34 p
- ASK, 2003, Taller "Construyendo las bases para la conservación del agua y su biodiversidad asociada en la Península de Yucatán", 10 y 11 de noviembre de 2003, Cancún, Quintana Roo. Amigos de Sian Ka'an, The Nature Conservancy, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- ATSDR, 2001, *Manganeso, CAS #7439-96-5*, Agency for toxic substances and disease registry, División de toxicología, 2p.
- AUGE M, 2004, *Vulnerabilidad de Acuíferos*, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.4, p.85-103
- Batlloori Sanpedro E, Febles Patrón J.L., 2002, *El agua subterránea en el desarrollo regional de la Península de Yucatán, Avance y Perspectiva* Vol. 21, CINVESTAV, México, p. 67– 77
- Beddows P.A., Smart P.L., Coke J., Doerr S. Smith S., Whitaker F.F., 2006: *Cave Development on the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico*. Geological Society of America, Special Paper 404,

- 2006.
- Bessouat C. Castagnino G., De los Santos J., Robano Mariana, 2001, *Vulnerabilidad de un acuífero somero en medio poroso. Acuífero Raigón, San José Uruguay*, I Seminario-Taller Protección de acuíferos frente a la contaminación, Toluca, México.
- Bezaury Creel, J., Sanpedro Batllori, Gutiérrez Ronces R., Trejo J., Dzil hoil P., Limberg R., Pérez F., Duhne E., Hernández V, Calderón G., Carranza J., 1995, *Conservación de la Cuenca Hidrológica Alta de la Bahía del Espíritu Santo, Quintana Roo, México*, Sian Ka'an, Serie de documentos, No 3, 1-32 p.
- Brix H., 1997, *Treatment of wastewater in the rhizosphere of whetlands plants-the root zone method*. Wat. Sci. Tech. 19, 107-118 p.
- Castillo D., 2006, *Sanitario ecológico seco, Manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento*, Tesis Tecnologías Alternativas para un Hábitat Popular Sano, Lourdes Castillo Castillo, Guadalajara, Jal., México, 99p.
- CAPA, 2006, *Datos promedio para el 2005 de calidad del agua para el municipio de Solidaridad*, Coordinación Operativa, Departamento de Control de Calidad del Agua, Sistema operador Solidaridad.
- Carbonel A., 1993, *Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty*. National Research Council. National Academy Press Washington DC 1-204p
- CEMDA, 2006, *Propuesta para crear una Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos de contaminantes en la descargas de aguas residuales en zonas costeras con presencia de arrecifes de coral*, Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), 13p
- CINDAQ, 2003, *Presentación para el taller Construyendo las bases para la conservación del agua y su biodiversidad asociada en la Península de Yucatán*, Cancún.
- Civita M., 1975, *Criterios de evaluación de recursos hídricos subterráneos en regiones cársticas*, Art 3º Convención Internacional de acuíferos subterráneos, Palermo 217-237 p.

- Civita M. Chiappone A. Falco M. E P. Jarre, 1990, *Preparazione della carta di vulnerabilità per la rilocalizzazione di un impianto pozzi dell' Aquedotto di Torino. Proc. 1 st. Conv. Naz. "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi.* Marano sul Parnaro. Vol. 2, 461- 462 p.
- Civita M., De Maio Marina, 2004, *Assesing and mapping groundwater vulnerability to contamination; The Italian Convined Approach,* Geofisica Internacional, Vol. 43, No. 4, 513-532 p.
- CNA, 2000, *NOM-011-CNA-2000, Conservación del Recurso Agua - Que Establece Las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales,* Apéndice Normativo A, DOF, México.
- CNA, 2002, *Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Península de Yucatán ,* Estado de Yucatán, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, México. D.F.
- CONAGUA, 2006, *Memorias del Foro Estatal de Investigación Científica y de Desarrollo Tecnológico "El sistema hidrológico de Quintana Roo",* 52 p.
- CONAGUA, 2005, *Actualización Geohidrológica del Acuífero de la Zona Norte del Estado de Quintana Roo (Polígono comprendido entre Cancún, Nuevo Xcan, Coba y Tulum)* Comisión Nacional del Agua Infraestructura Hidráulica y Servicios, S.A. de C.V., 142 p.
- CONAGUA, 1999, *Estudio geohidrológico para la identificación de las fuentes de abastecimiento de agua potable para el centro integralmente planeado Costa Maya, estado de Quintana Roo,* Nacional de Tecnologías, S.A. de C.V., para CONAGUA
- CONANP, 1981, *Decreto Parque Nacional Tulum,* Comisión de Áreas Naturales Protegidas, Diario Oficial de la Federación, México.
- CONANP, 2004, México, *Biodiversidad que asombra al mundo ,* Áreas Naturales Protegidas, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 240 p.

- CONANP, 2005, *Los humedales prioritarios de México*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México D.F. 48 p.
- Cortés Bracho J., Samaniego Moreno, L., Monroy Nieto A., López Méndez A., 2003, *Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación*, UAAAN.
- Corniello, A., Ducci, D., 2000, *Pollution vulnerability assesment in Karstic aquifers. A case of study of Matese Mountains (Southern Italy)*, In O Sililo et al. Eds: Ground water: Past Achivements and Future Challenges, 725-730, Balkema, Rotterdam.
- Corniello, A., Ducci D., Gennaro M., 2003, *Aquifer pollution vulnerability in the Sorrento Peninsula, Southern Italy, evaluated by SINTACS meted*, Depln genieria Geotecnica, Geofpísica Internacional (2004), Vol. 43, Num 4 pp. 575-581.
- Cucchi F., Forti P., Zini L., 2003, *The vulnerability of complex karst hydrostuctures: Problems and perspectives*, 1st International Workshop Aquifer Vulnerability Risk, Mexico 50-59 pp.
- Cusimano G. , De Maio M , Gatto L. , Hauser S., Pisciotta A., 2004, *Application of SINTACS method to the aquifers of Piana di Palermo, Sicily, Italy*, Geofísica Internacional (2004), Vol. 43, Num. 4, pp. 661-670
- Custodio E., 1995, *Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución*. II Seminario Hispano – Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica # 11. San Miguel de Tucumán. 99-122 p
- DCPRH, 2004, *Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecidos en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, decreto supremo no 46 de 2002*, Ministerio y obras públicas, Dirección General de Aguas, Gobierno de Chile, Departamento de conservación y protección de recursos hídricos, Santiago, 39 p.
- Díaz, C., Esteller Ma. V., López F., 2006, *Recursos hídricos, Conceptos básicos y estudios de caso en Ibero América*, Red Iberoamericana de Potabilización y depuración de agua , Centro Iberoamericano de recursos del agua , Universidad Autónoma del estado de México,

Piriguazu Ediciones

- DINIUS, S.H., (1987). "*Design of a Water Quality Index*", W.R. Bulletin, V23, #5, pp. 833-43.
- Dodgson J., Spackman M., Pearman A., Phillips L., 1992, National Economic Research Associates, USA, 2 p.
- Doerfliger N., & Zwahlen F., 1997, EPIK, *a new method for outlining of protection areas in karstic environment*. In Gunay & Jonshon (Ed). Int. Symp. On Karst Waters and Environ. Impacts. Antalya, Turkey, Balkema Rotterdam, 117-123pp.
- Domínguez, M., 2007, *Diplomado Internacional en Desarrollo Integral de Cuencas, Conceptos Básicos de Hidrología de Cuencas* Módulo III-a, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, División de estudios de posgrado.
- Drizo A., Foster C., Smith K., y Grace J., 1997, *Phosphorus removal by horizontal reed beds using shale as a substrate*. Water Environmental Res. 68, 951-954 p.
- Edline 1983, en Collado R. 1992 *Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Editorial PARANINFO
- EPA, 1991, *A review of methods for assessing the sensitivity of aquifers to pesticide contamination. Preliminary document.*, Washington DC 1-21pp
- EPA 1980, *Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Editorial PARANINFO, Agencia de Protección Ambiental, USA.
- Escolero, O. A., Marin, L. E., Steinich, B., Pacheco, A. J., Cabrera, S. A., Alcocer. J. 2002, *Development of a Protection Strategy of Karst Limestone Aquifers: The Mérida Yucatan, Mexico Case Study*. Water Resources Management, 16, 351-367.
- Foster, S., Hirata,R., 1991, *Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data*. Panamerican center for sanitary engineering and environmental science, CEPIS, Rapport technique, Lima, Peru, 2nd edition, 73 p.
- Granado, 2003, *Tratamiento de los residuos*, Dirección General de Producción y

- Medio Ambiente, Gobierno de Argentina, 11 p.
- INEGI, 2003, *Censo Económico Nacional*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2005, *Estudio hidrogeológico del estado de Quintana Roo*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, 79 pp.
- INEGI, 2000, *XII Censo General de Población y Vivienda*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2005, *II Conteo General de Población y Vivienda*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- Jung S., Lin Y., Lee D., Wang T., 2001, *Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands*. *Biores. Tech.*, 131-135
- Johansson L., 1997, *The use od LECA (Light expanded clay aggregates) for the removla of phosphorus from wastewaters*. *War. Sci. Tech.* 35, 87-93 p.
- Lahora, A., sin año, *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La Edar de los Gallardos Almería*, Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S.A. GALASA, 14 p.
- León Vizcaíno, L., sin año, *Índices de Calidad del Agua (ICA)*, Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 7p.
- Lin Y., Jing S., Lee A., Wang A., 2002, *Nutrient removal from aquaculture wastewaters using a constructed wetlands system*. *Aquaculture*, 209, 169-184 p.
- Linsley R. K., Kohler M. A., Paulus J., 1977, *Hidrología para ingenieros*, Segunda Edición, McGraw-Hill, Latinoamericana, 386 pp.
- Luna V., Ramírez H., 2004, *Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales*, *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20 (1), 31-38 p.
- MIRC, 1999, *Memorias de la construcción de los modelos de fosa séptica y sanitario abonero, y actividades relacionadas en Laguna Guerrero*, Universidad de Quintana Roo, Programa de Manejo Integrado de Recursos Costeros, 24p.

- Monsalve G.S., 1999, *Hidrología en la Ingeniería*, Alfaomega, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2ª edición, Colombia, 358 p.
- Montes D., 2007, *Diagnóstico, caracterización y manejo de residuos sólidos urbanos y peligrosos en la Riviera Maya, Quintana Roo*, un caso de estudio “Hotel Occidental Grand Flamenco Xcaret”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores de Zaragoza, Tesis de Licenciatura, 122p.
- Morales J.J., 1992, *Los Humedales, Un Mundo Olvidado, Introducción a los ecosistemas de la Península de Yucatán*, Serie de Publicaciones Amigos de Sian Ka'an, México.
- Murat V, Maryel R, Martine M, Nastev M, Paradis D, Michaud Y, Lefebvre R., Hamel A, Therrien R., 2003, *Comparing various vulnerability evaluation methods in two Canadian hydro geological setting, Aquifer Vulnerability and Risk 1st International Workshop*, 60-69 p.
- Neuman B., Rahbek M., 2006, *Modelling Concepts for the Sustainable Management of the Sian Ka'an Biosphere Reserve*, Quintana Roo, México, Institute of Environment & Resources Technical University of Denmark, Tesis de Maestría, 297 p.
- NOM-127-SSA1-1994, *Norma Oficial Mexicana, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su Potabilización*, Secretaría de Salud, 9p.
- PDUT, 2006, *Programa de Desarrollo Urbano de Tulum, Actualización 2006*, Solidaridad, Quintana Roo.
- RAMSAR, 2003, *Ficha Informativa de los humedales Sian Ka'an*, RAMSAR, 17p.
- Remenieras, G., 1974, *Tratado de Hidrología Aplicada*. Editores Técnicos Asociados 515p.
- Reynoso, L.; Sasal, C.; Portela, S.; Andriulo, A.1 2005, *Vulnerabilidad del acuífero Pampeano a la contaminación en el norte de la Provincia de Buenos Aires*. Aplicación de la metodología DRASTIC, Argentina, 15 pp.
- SAGARPA, 2002, *Programa Nacional de Microcuencas*, Fideicomiso de Riesgo Compartido FIRCO, México, 29 p.

- SAGARPA, 2005, *Plan Rector de Producción y Conservación Cuenca Cobá*, FIRCO, SAGARPA Quintana Roo, Universidad de Quintana Roo, 70 p.
- Sánchez, R. y S. Rebollar D. 1999, Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar. *Madera y Bosques* 5(2):3-17p.
- Salvat B., Haapkyla J., Schrimm, 2002, *Coral reef protected areas in international instruments*. World Heritage Convention, World Network of Biosphere Reserve , Ramsar Convention, CRIOBE-EPHE, Moorea, Polynésie française, 210 p.
- Salas Rodríguez, J.J.; Pidre Bocardo, J.R.; Cuenca Fernández, I., 2005, *Humedales artificiales en la planta experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla)*, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), ENCUENTRO INTERNACIONAL EN FITODEPURACIÓN (Lorca), 7p.
- SARH, 1989, *Sinopsis Geohidrológica del Estado de Quintana Roo*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Gerencia de aguas subterráneas, México, DF.
- SCT, 2004, N-PRY-CAR-1-06-004/00, *Estudios hidráulicos hidrológicos para puentes, Análisis hidrológico*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 13 p.
- SENET, sin año, *Índice de calidad del agua ICA*, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, El Salvador, 14 p
- Smart, P.L., Beddows, P.A., Coke, J., Doerr, S., Smith, S., and Whitaker, F.F., 2006, *Cave development on the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico*, in Harmon, R.S., and Wicks, C., eds., *Perspectives on karst geomorphology, hydrology, and geochemistry—A tribute volume to Derek*
- C. Ford and William B. White: *Geological Society of America Special Paper* 404, p. 105–128, doi: 10.1130/2006. 2404(10).
- SEMARNAT, 2004, *Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales*, Diario Oficial de la

- Federación, Primera sección, México, 69 pag
- Stern, J., 2004, *Agua, Ética y Biodiversidad*, VOL. XX, Nº 2, EDICIÓN ANIVERSARIO, 3 p.
- Supper R., Bauer P., Römer A., Motschka K., Merendiz G., Kinzelbach W., ,2006, High Resolution Geoelectrical Surveys for the Exploration of Water Filled Karst Systems in Yucatan, Mexico and conclusions for a comprehensive airborne exploration strategy, no publicado
- Tanner C., Clayton J., Upsdell M., 1995, *Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands- II. Removal of nitrogen and phosphorus*. Wat. Res. 29, 27-34 p.
- Tampieri A., 2006, *Multi-Objective Optimization of Land Use Patterns in the Sian Ka'an Biosphere Reserve Catchments*, Quintana Roo, México, Master Thesis Project M.Sc. in Environmental Engineering, Universidad Técnica de Dinamarca, 94 p.
- TNC, CONANP, ASK, 2003, *La Importancia de la Hidrología para la Conservación de la Biodiversidad en el Sitio Plataforma Sian Ka'an*, PCS, estrategias y acciones relacionadas con la Hidrología de Sian Ka'an. 5 p.
- TNC, 2007, *Valoración de cuencas como una herramienta para la conservación de la biodiversidad*, Lecciones aprendidas de proyectos de conservación The Nature Conservancy, USAID, Editora Karin M. Krchnak.
- UQROO, 2002, *Taller de manejo de recursos y uso de suelo*, Ejido Santa María Poniente, Universidad de Quintana Roo, 14 p.
- UNATSABAR, 2001, *Guía de diseño para la captación de agua de lluvia*, Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud , Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima, Enero 2001.
- USAID, 1999, *Composta, Conservación en su patio, Crece Contigo*, USDA-Servicio de Conservación de Recursos Naturales, La Asociación Nacional de Distritos de Conservación, Consejo de Hábitat de Fauna, Una

- hoja informativa de una serie de 10 sobre la conservación en su patio, 4p.
- Van Stempvoort, D., L., Ewert and L. Wassenaar.1995, *AVI: A method for Groundwater Protection Mapping in the Praire Province of Canada*, PPWB Report No. 114, National Hydrogeology Research Institute, Saskatoon Saskatchewan, Canada
- Vázquez Porta C., 2004, *Estufa ahorradora de leña*, Gobierno del Estado de Tabasco, Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca, 13p.
- Veenhuizen R., Matías, C., sin año, *Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia 1*, INTRODUCCIÓN, FAO-RLAC, 5 p.
- VRBA J. & A. ZAPOROZEC, 1994, *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*, IAH. Vol. 16:. Verlag Heinz Heise. Hannover, 1-131pp
- Widman Aguayo F. *et al.*, 2005, *El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán*. Estudios preliminares., / Ingeniería 9-3 (2005) 31-38

Capas de Información Geográfica

- CONABIO, Proyección: Cónica Conforme de Lambert, DATUM: NAD27, y Sistema de coordenadas Geográficas;
- PRONATURA, Evaluación Ecorregional Selva Zoque Maya y Olmeca, Proyección Cónica Conforme de Lambert, Datum: NAD27
- Amigos de Sian Ka'an, Proyección UTM Zona 16 Datum NAD27
- SAGARPA FIRCO, Proyección UTM Zona 16, Datum NAD27.
- Universidad Técnica de Dinamarca, UTM Zona 16 Datum NAD27.

Sitios de Internet Consultados

- Ayuntamiento Solidaridad, 2006, www.solidaridad.gob.mx, 20/07/06
- Baez, V. A. 2001. Validación de mapas de vulnerabilidad en medios urbanos. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/baez.html> 10-06-06
- Bali D., sin año, Con la basura hasta el cuello, Centro Mexicano de Derecho Ambiental, <http://www.cemda.org>

- COMAPA, sin año, Determinación de dureza de calcio y magnesio, Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Zona Conurbada de la Desembocadura del Río Panuco en el Estado de Tamaulipas, http://www.comapa-zconurbada.gob.mx/demo_lyet/manuales/tecnica/IT-GT-06%20Determinaci%C3%B3n%20de%20dureza%20de%20Calcio%20y%20Magnesio.pdf, 10/02/07
- CONABIO, 2006 http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_105.html
- CONANP, 2006, <http://www.conanp.gob.mx/>
- EPA, 2007, Municipal Solid Waste, <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/sourcred.htm>
- FAO, 2003, Manual de Análisis Espacial, Proyecto Regional “Ordenamiento Territorial Rural Sostenible” (Proyecto CP/RLA/139/JPN), Santiago, Chile, 36 pp. www.rlc.fao.org/proyecto/139jpn/document/2ordenam/talleres/tafoae/doctae/mmae.pdf, 11/11/06
- Fondo SAM, 2005, <http://www.marfund.org/esregiondetrabajo.html>, 8/02/06
- GRUPO T.A.R., 2006, Parámetros de determinantes de la potabilidad de un agua <http://tar5.eup.us.es/master/analisis/protopdf/POTABLES.pdf>
- Gobierno Vasco, 2006, Diccionario Meteorológico, Departamento de transportes y obras Publicas, <http://vppx134.vp.ehu.es/met/html/diccio/indice.htm>, 8/02/06
- ILCE, sin año, El Huerto Tradicional, Biblioteca digital, Secretaría de Educación Pública, ILCE, CIE, http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/educa/libros/huerto/html/sec_3.htm 30/04/07
- MAB / UNESCO, 2006, http://whc.unesco.org/pg.cfm?cid=31&id_site=410, 10/02/06
- NRCS, 1999, COMPOSTA, <http://www.pr.nrcs.usda.gov/news/composta.html>,

26/04/07

No mas basura, 2007, Programa de control y separación de basura,
<http://www.nomasbasura.org>, 26/04/07

Pilar Llorens. 2003. La evaluación y modelización del balance hidrológico a
escala de cuenca. *Ecosistemas* 2003/1

(URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/opinion1.htm>) 10/02/06

Portal Gobierno, 2006, www.quintanaroo.gob.mx, 11/02/06

PRONATURA, 2006, <http://www.pronatura-ppy.org.mx>, 11/02/06

Sarar Transformación SC, sin año, Instrumentos Educativos para el
Saneamiento Ecológico, Proyecto Piloto TepozEco, Tepoztlán, Morelos,
México. www.sarar-t.org

Tehuizil Valencia L., 2006, Estufas ahorradoras de leña para el mejoramiento de
la salud y la vivienda, http://mx.geocities.com/pssm_ac/estufas1.htm

TERRAMOR, sin año, Permacultura, el mundo de la composta,
<http://www.tierramor.org/permacultura/composta.htm>, 26/04/07

TNC, 2005, Parques en Peligro, <http://parksinperil.org>, 7/02/06

TNC, 2006,
<http://parksinperil.org/espanol/dondetrabajamos/mexico/areaprotegida/siankaan.html> 10/02/06

UF/IFAS, sin año, Wastewater Treatment Wetlands: Contaminant Removal
Processes, William F. DeBusk, <http://edis.ifas.ufl.edu/SS293> , 27/04/2007

UNACH, 2007, Estufa ahorradora de leña,
<http://www.dan.unach.mx/html/estufas.html>, 24/04/07

UPRM, 2007, Manual de Ecología Microbiana, Sólidos disueltos totales,
<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/> 10/02/07

Yahoo noticias, 2007, http://es.noticias.yahoo.com/efe/20070829/tsc-huracan-dean-afecto-el-40-de-la-rese-23e7ce8_1.html, 4/09/07

Acrónimos

AICAS	Área de Conservación de Aves Importantes en México
ANP	Área Natural Protegida
ASK	Amigos de Sian Ka'an A.C.
CAPA	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CEMDA	Centro Mexicano de Derecho Ambiental
CINDAQ	Centro de Investigaciones del Acuífero de Quintana Roo
CINVESTAV	Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
CNA	Comisión Nacional del Agua
COESPO	Consejo Estatal de Población
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento, Uso y Conservación de la Biodiversidad
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DOF	Diario Oficial de la Federación
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
GEF	Bank Global Environmental Facility
HAFS	Humedal Artificial de Flujo Subsperficial
ICA	Índice de Calidad del Agua
ICRAN	Internacional Coral Reef ction Network
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
MBRS SAM	El Sistema Arrecifal Mesoamericano
NAWCC	Consejo de Conservación de Humedales de Norte América
PCS	Planificación para la Conservación de Sitios
POET	Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial
PRONATURA	Asociación Civil PRONATURA
PRPC	Plan Rector de Producción y Conservación
RAMSAR	Convenio de humedales de importancia internacional
RBSK	Reserva de la Biosfera Sian Ka'an
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
TNC	The Nature Conservancy
UADY	Universidad Autónoma de Yucatán
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
WRI	World Resource Insitute

APENDICES

Apéndice I. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas de la Península de Yucatán. (CNA,2005)

ESTACIONES METEOROLÓGICAS YUCATAN	X	Y
ABALA	-89.516	20.650
BECANCHEN,TEKAX	-89.350	19.830
BUCTZOTZ	-88.800	21.210
CELESTUN	-90.400	20.880
C.I.A.P.Y.,	-89.767	20.410
CHICXULUB	-89.600	21.300
CHAN-CHICHIMILA	-88.467	20.433
DZAN	-89.417	20.500
DZILAM DE BRAVO	-88.900	21.400
DISTAS	-88.533	20.850
EL CUYO,TIZIMIN	-87.683	21.517
CATMIS(INGENIO),TZUCACAB	-88.966	19.910
IZAMAL	-89.033	20.950
KINCHIL	-89.950	20.910
LOCHE,PANABA	-88.150	21.380
MAXCANU	-90.000	20.600
MOTUL	-89.300	21.100
MUNA	-89.716	20.500
PETO(DGE)	-88.933	20.130
RIO LAGARTOS	-88.167	21.580
S.DIEGO TEKAX	-89.283	20.200
SANTA ELENA	-89.650	20.330
SISAL,HUNUCMA	-90.030	21.160
SOTUTA	-89.016	20.600
TELCHAC	-89.260	21.330
TELCHAQUILLO,TECOH	-89.466	20.650
TEKAX	-89.300	20.200
TIZIMIN	-88.166	21.150
TIXMECUAC	-89.116	20.250
XOCNACEH,TICUL	-89.500	20.350
XUL,OXKUTZCAB	-89.460	20.100
YAXCABA	-88.833	20.530
CELESTUN (DGE)	-90.400	20.883
VALLADOLID	-88.216	20.700
MERIDA	-89.633	20.983
SOTUTA	-89.017	20.600
HUNUCMA	-89.000	20.833
MOCOCHA	-89.450	21.100

ESTACIONES METEOROLÓGICAS CAMPECHE	X	Y
AKIL	-89.333	20.267
ACANCEH	-89.450	20.800
CHANCENOTE,TIZIMIN	-87.766	20.983
CHEMAX	-87.933	20.650
BOLONCHEN,HOPELCHEN	-89.817	20.000
CALKINI	-90.050	20.367
CANDELARIA,CARMEN	-91.050	18.183
CAYO ARCAS	-90.867	20.217
ARENAS	-91.400	22.116
CIUDAD DEL CARMEN	-91.833	18.650
CHAMPOTON,CHAMPOTON(SMN)	-90.717	19.350
DZIBALCHEN,HOPELCHEN	-89.733	19.467
ESCARCEGA	-90.750	18.617
HECELCHAKAN	-90.133	20.183
CHAMPOTON	-90.483	19.517
HOPELCHEN	-89.867	19.750
ISLA ARENAS,CALKINI	-90.483	19.517
ISLA DE AGUADA	-91.500	18.800
ISLA PEREZ	-89.683	22.383
ITURBIDE,HOPELCHEN	-89.600	19.583
LA ESPERANZA,CHAMPOTON	-90.083	18.167
MIGUEL HIDALGO	-90.866	17.866
MONCLOVA	-90.850	18.033
NILCHI	-90.250	19.833
PALIZADA	-92.100	18.200
PIXOYAL,CHAMPOTON	-90.533	18.933
PUSTUNICH,CHAMPOTON	-90.466	19.183
SABANCUY	-91.183	18.983
SAN ISIDRO	-91.517	18.250
SILVITUC,CHAMPOTON	-90.050	18.666
TENABO	-90.233	20.033
TRIANGULO	-92.317	20.967
XCUPIIL	-89.850	19.717
LAGUNA,HOPELCHEN	-89.450	18.583
CAMPECHE	-90.533	19.850
CANASAYAB,CHAMPOTON	-90.867	19.300
SANTA CRISTINA	-90.400	19.817
NOH-YAXCHE	-90.233	19.600
XCUPIIL,HOPELCHEN	-89.866	19.700

ESTACIONES METEOROLÓGICAS QUINTANA ROO	X	Y
ADOLFO LOPEZ MATEOS	-88.700	19.667
COZUMEL	-86.950	20.400
FELIPE CARRILLO PUERTO	-88.030	19.580
KANTUNINKIN	-87.500	21.117
LEONA VICARIO	-87.200	21.000
LIMONES	-88.100	19.017
PEDRO ANTONIO SANTOS	-88.167	18.933
TIHOSUCO	-88.333	20.233
Tulum	-87.467	20.217
VALLE HERMOSO	-88.100	19.017
X-PICHIL	-88.433	19.700
ALBARO OBREGÓN	-88.616	18.100
VICTORIA	-87.250	20.750
SOLFERINO	-87.467	21.317
SEÑOR	-88.283	18.917
SERGIO B. CASAS	-88.617	18.533
PUCTE	-88.700	18.167
LA PRESUMIDA	-88.767	19.817
INIA CHETUMAL	-88.450	18.567
DIZIUCHE	-88.638	19.883
CHETUMAL OBSERVATORIO	-88.317	18.483
COBA	-87.733	20.483
PLAYA DEL CARMEN	-87.067	20.617
CENTRAL VALLARTA	-87.033	20.850
CANCÚN	-86.817	21.150
CANDELARIA	-88.950	18.067
LAGUNA KANA	-88.383	19.500
SABAN	-88.533	20.033
AGUA BLANCA	-88.817	18.000
ANDRES Q. ROO, OPB	-88.100	19.150
IDEAL	-87.533	20.867
JOSE MARIA MORELOS	-88.233	19.250
REFORMA	-88.233	18.800
TAMPAK	-88.700	19.566
COCOYOL	-88.683	18.167
HOLBOX, ISLA M	-87.283	21.533
LOS POZOS	-88.483	18.550
NICOLAS BRAVO	-88.933	18.433
PALMAS	-88.117	19.233
PUERTO MORELOS	-86.900	20.833
SANTA CRUZ CHICO	-88.283	18.917
XCALAK	-87.850	18.283
XCAN NUEVO	-87.583	20.883
CHETUMAL DGE	-88.300	18.500
CHACCHOBEN	-88.267	18.917

Apéndice II. Especies más comunes que se encuentran en los huertos de México. (ILSE, sin año)

Nombre común en español	Nombre común en maya	Usos
Henequén mezcal	Ki	Textil
Sisal	Ki	Textil
Marañón o nuez de la india	-	Alimenticio
Jobillo	Kulimché	Maderable
Mango	-	Alimenticio
-	Chechén	Maderable
Ciruela amarilla	káan abal	Alimenticio y maderable
Ciruela campechana	Abal	Alimenticio y medicinal
Anona blanca	Sak o'op	Alimenticio
Guanábana	Tak o'op	Alimenticio
Anona morada	O'op	Alimenticio
Saramuyo	Ts'almuy	Alimenticio
-	Boxé'ele'muuy	Medicinal
Cananga	-	Ornamental
Loroco	-	Alimenticio
Flor de Vicaria	-	Ornamental y medicinal
Narciso	-	Ornamental
Flor de mayo	Chak nikte'	Ornamental
-	Kabal muk	Ornamental
Huevo de perro	Aki'its	Ornamental
Campanilla	Aki'its	Medicinal
-	Kukut makal	Alimenticio
Guaco real	Xak ak'	Medicinal
Chilillo	-	Alimenticio
Chichigua	Chuuch	Ornamental
Anal	Pool kuuts	Medicinal
-	Ya'ax eck'k'aax	Alimenticio
Jícara	Luuch	Medicinal y artesanal
Orquídea africana	U lool che'india	Ornamental
-	Mak'ulis Kan'lool	Ornamental
-	Mak'ulis Jo'kab	Ornamental y maderable
Flor amarilla	Kan'lool	Medicinal
Achiote	Kiwi	Colorante y especia
Ceiba	Yaaxché	Maderable
Amapola	Chak kúx che'	Ornamental y medicinal
Majá	Mahats	Artesanal
Laurel	-	Ornamental
Ciricote	K'oopté	Ornamental
Bojón	Bakché	Ornamental
Roble	Bek	Maderable
Piñuela	Ch'om	Alimenticio
Piña	-	Alimenticio
Palo mulato	Chakah	Maderable y medicinal
Copal	Poomte'	Fragancia
Zaite	Nuum tsustsuy	Alimenticio y ornamental
Pitaya	Pitahaya	Alimenticio
Jipijapa	-	Artesanal
Papaya	Puut	Alimenticio

Bonete	K'uum che'	Alimenticio
Ciprés	-	Maderable
Anal	Pool kuuts	Medicinal
-	Ya'ax eck'k'aax	Alimenticio
Jícaro	Luuch	Medicinal y artesanal
Orquídea africana	U lool che'india	Ornamental
-	Makúlis Kan'lool	Ornamental
-	Mak'ulis Jo'kab	Ornamental y maderable
Flor amarilla	Kan'lool	Medicinal
Achiote	Kiwi	Colorante y especia
Ceiba	Yaaxché	Maderable
Amapola	Chak kúx che'	Ornamental y medicinal
Majá	Mahats	Artesanal
Laurel	-	Ornamental
Ciricote	K'oopté	Ornamental
Bojón	Bakché	Ornamental
Roble	Bek	Maderable
Piñuela	Ch'om	Alimenticio
Piña	-	Alimenticio
Palo mulato	Chakah	Maderable y medicinal
Copal	Poomte'	Fragancia
Zaite	Nuum tsustsuy	Alimenticio y ornamental
Pitaya	Pitahaya	Alimenticio
Jipijapa	-	Artesanal
Apazote	Kuku'um xiw	Medicinal
Tecomasuche	Chum	Ornamental
Peineta de mono	-	Alimenticio
Chupamiel	-	Alimenticio
Almendra	-	Alimenticio
-	Chak ts'am	Ornamental
Omil	-	Medicinal
Cuaguapate	Chalche	Medicinal
-	Pech uk	Medicinal
-	Suum ak	Ornamental
Hierba del toro	Baken box	Medicinal
Cambray	-	Ornamental
Siempreviva	Sisal xiw	Medicinal
Cundeamor	Kool mool	Medicinal
Pepenance	Ta'uch'	Alimenticio
Capulín	-	Alimenticio
Chaya	Chay	Alimenticio
-	lk ka'aban	Medicinal
-	P'eres ku'uch	Medicinal
-	Ek balam	Medicinal
Flor de nochebuena	-	Ornamental
Tempate	Sikilte'	Medicinal
Yuca	Ts'iin	Alimenticio
Higuerillo	K'o'och	Medicinal
Canjuro	Ixi'inche'	Medicinal
Lágrima de San Pedro	Halal	Artesanal
Bambú	-	Artesanal
Mamey de Santo Domingo	Chakal ja'as	Alimenticio
Coroncho	Chak ki'is	Artesanal

Confitura	Cholte´nuk	Medicinal
Vara de San José	Jaras xiw	Medicinal
Yerbabuena	Xakil xiw	Alimenticio
Albahaca	Xkakatuum	Medicinal
Aguacate	Oom	Alimenticio
Chucte	Box oom	Alimenticio
-	Oxo aak´	Medicinal
Cuernezuelo	Subin	Alimenticio
Yaba	Pakay	Medicinal
Flor de camarón	Chacsikin	Ornamental
Lluvia de oro	-	Medicinal
Fístula	-	Ornamental y medicinal
Chipilín	-	Alimenticio
Flamboyán	Maaskab che´	Ornamental
Huachipilín	-	Ornamental
Guanacaste	Pich	Alimenticio y maderable
Madrecacao	Sakyab	Alimenticio
Cuapinol	-	Alimenticio
Añil	Cho´oy	Colorante
Guama	-	Alimenticio
Guaje	Waaxim	Forrajero
Bálsamo	-	Medicinal
Jícama	Chi´kan	Alimenticio
Palo de zope	Ja´bin	Medicinal y maderable
-	Sak chukum	Medicinal
Mangallano	Tsiw ché	Medicinal
Algarroba	-	Maderable
Tamarindo	-	Alimenticio
Cebolla	Kukut	Alimenticio
Ajo	-	Alimenticio
Sábila	Yucca	Medicinal
Nance agrio	Sak pa´	Alimenticio
Nance	Chil	Alimenticio
Algodón	Piits	Textil
Tulipán	-	Ornamental
-	Chuk chiik	Medicinal
Cedro	Ku´che	Maderable
Paraíso	K´ankab	Ornamental
Caoba	Punab ché	Maderable
Palo de pan	-	Alimenticio
Ramón	Ox	Alimenticio
Palo de hule	K´i´ik	Pegamento
Guarumbo	Xk´o´och	Medicinal
Chancarro	-	Medicinal
Palo mora	Chak ox	Colorante
Contrahierba	Kabal jaw	Medicinal
Higo	-	Alimenticio
Mataoalo	-	Medicinal
-	Ko´opo´	Textil
Coco	-	Alimenticio
Paraíso blanco	-	Ornamental
Plátano macho	-	Alimenticio
Plátano	Ha´as	Alimenticio

Pimienta	Nukuch pool	Especia
Guayaba	Pichi	Alimenticio
Bugambilia	-	Ornamental
Maravilla	Tutsuy xiw	Ornamental
-	Pa'sakché	Alimenticio
-	Ik ché	Alimenticio
Vainilla	Siis bik	Alimenticio
Cocoyol	Tuk'	Alimenticio
-	Xyaat	Ornamental
Corozo	-	Alimenticio
Palma real	-	Ornamental
Guano	Julok'aan	Textil
Guano	Bon xa'an	Textil
Cordoncillo	Makulan	Alimenticio
Confite	Chak lool makal	Ornamental
Granada	Yanuko	Alimenticio
Pimienta de monte	Lu'um ché	Maderable
Ciruela de monte	-	Alimenticio
Nuez	-	Alimenticio
Hule	Uxpiib	Alimenticio
Café	-	Estimulante
Zapote blanco	Chooch	Alimenticio
Limón	-	Alimenticio
Naranja agria	Su'uts Pak'aal	Alimenticio
China lima	-	Alimenticio
Naranja china	Ch'ujuc Pa'aal	Alimenticio
Limonaria	-	Ornamental
Ruda	-	Medicinal
Clavel de oro	Chak misib	Ornamental
Chichicaste	Chak laalil	Alimenticio
Jaboncillo	Sibul	Ornamental
Huaya	Wayuum	Alimenticio
Caimito	Ni'keej	Alimenticio
Zapote	Ya	Alimenticio
Zapote amarillo	Kanisté	Alimenticio
Mamey	Chacal hass	Alimenticio
Chile habanero	-	Alimenticio
Chile max	Maax ik	Alimenticio
Galán de noche	Akab	Ornamental
Tomate	P'ak	Alimenticio
Tabaco	Kúuts	Estimulante

Apéndice III LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS

Ley de Aguas Nacionales (SEMARNAT, 2004)

Artículo			Contenido
Título	Capítulo	Artículo	
2	2	6	Compete al Ejecutivo Federal reglamentar por cuenca hidrológica y acuífero, el control de la extracción así como la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales del subsuelo, inclusive las que hayan sido libremente alumbradas y las superficiales.
4	1	17	Es libre la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales por medios manuales para uso doméstico siempre que no se desvíen de su cauce ni se produzca una alteración en su calidad o una disminución significativa en su caudal
6	2	55	La explotación, uso o aprovechamiento de aguas en ejidos y comunidades para el asentamiento humano o para tierras de uso común se efectuarán conforme lo disponga el reglamento interior que al efecto formule el ejido o comunidad, tomando en cuenta lo dispuesto en el Artículo 51 de la presente Ley. ARTÍCULO 51. Para la administración y operación de los sistemas o para el aprovechamiento común de las aguas a que se refiere la Fracción II del Artículo anterior, las personas morales deberán contar con un reglamento
6	2	56	La adopción del dominio pleno sobre las parcelas ejidales implica que el ejidatario o comunero explotará, usará o aprovechará las aguas como concesionario, por lo cual deberá contar con el título respectivo, en los términos de la presente Ley y sus reglamentos
6	4	82	La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales en actividades industriales, de acuicultura, turismo y otras actividades productivas, se podrá ejecutar por personas físicas o morales previa la concesión respectiva otorgada por "la Autoridad del Agua", en los términos de la presente Ley y sus reglamentos.

Apéndice IV ENCUESTA

Sonde Sobre Uso y Manejo del Agua en el Municipio de Solidaridad
Universidad Autónoma de Querétaro

NOMBRE _____ FECHA _____

UBICACION: GPS _____

USUARIO:

Doméstico Agrícola Servicio (restaurante y comercio) Industria hotel otros _____

ABASTECIMIENTO:

Agua potable CAPA Pozo Concesión Cenote Pipas Otro _____

Almacena: Tinacos Cisternas No almacena Otros _____

Promedio uso agua m³/mes: _____ Costo al mes _____

USOS DEL AGUA %

Doméstico Agrícola Pecuario Ind. Hotelera Ind Rest. Otros _____

Lavar Riego Abrevadero Alberca Limpieza

Cocinar limpieza

Aseo Riego

Riego

SANEAMIENTO: Volumen Agua Residual producida _____

PTAR propia Drenaje Fosa Séptica No cuenta Otros _____

RESIDUOS

Recolección municipal Tiradero Otros _____

Separación de res. sol: No Org e Inorg. M,Pyc,P,V le interesaría S N

Uso agroquímicos: plaguicidas, herbicidas, fertilizantes Interés tec. alternativas

Necesidades de la comunidad Rnat Eco Soc

Detecta problemática en el manejo, uso y abastecimiento de agua: si no

Cual: _____

Cual solución propone: _____

SOLUCIONES: le interesa:

Asistir capacitación

Implementar prácticas sencillas

Instalar sistemas

Cursos cortos

Disminuir volumen de tanques sanitarios

Captación agua lluvia

Diplomados

Arreglar goteras y fugas

Biofiltros reuso agua gris

Educación formal

Composta

Humedales artificiales,
Baños secos

Conoce trabajo Microcuenca de SAGARPA: si No

Otras organizaciones que hayan tenido relación con el agua _____

Quienes intervienen en las decisiones sobre el agua _____