



PROGRAMA ESPECIAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE YUCATÁN.

Análisis de la información
hidrometeorológica, geológica y
geo-morfológica del Estado de Yucatán.



Banco Interamericano de Desarrollo

Agradecimientos

Un nuevo clima para el cambio

0.1. Por parte de CIGA han participado:

- Francisco Bautista
- Dorian A. Bautista-Hernández
- Thomas Ihl
- Ángeles Gallegos-Tavera
- Carmen Delgado Carranza
- Julia Pacheco
- Yameli G. Aguilar Duarte
- Óscar Frausto Martínez

0.2. Por parte de Factor CO₂ ha participado:

- Kepa Solaun
- Itxaso Gómez
- Santiago Pereira

0.3. Por parte de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán han participado:

- Eduardo Adolfo Batllori Sampedro
- Roberto I. Vallejo Molina
- Andrés III Sierra Gómez
- Dakar F. Villafaña Gamboa
- Martha P. Pérez Marrufo
- Roberto A. Us Vázquez

0.4. Por parte del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático han participado:

- Julia J. Martínez Fernández
- José A. Macías Vargas
- Luis A. Conde Álvarez

0.5. Por parte del Banco Interamericano de Desarrollo han participado:

- David Wilk
- Gmelina Juliana Ramírez
- Inês Pirés Araujo Ferreira
- Katharina Siegmann
- Jorge Hinojosa
- Ángelo Ángel

Índice general

1. Introducción	9
2. Descripción del medio físico	10
2.1. La duración del período de lluvia para cultivos	11
2.2. Huracanes y tormentas tropicales	13
2.3. Mareas	15
2.4. Geoformas y suelos	16
2.5. El agua subterránea y su calidad agrícola	22
3. Cobertura y usos de la tierra.	27
3.1. Cobertura vegetal y usos de la tierra.	27
3.2. Agricultura.	29
3.3. Ganadería.	31
3.4. Atracción turística (zonas arqueológicas y áreas naturales protegidas).	32
4. Paisajes fisicogeográficos.	34
4.1. La conformación del mapa de paisajes fisicogeográficos.	34
4.2. Planicies costeras.	35
4.3. Las planicies kársticas con Leptosoles.	36
4.4. Planicies kársticas (20 a 30 m) con Leptosoles y Cambisoles.	38
4.5. Planicies kársticas con Leptosoles, Cambisoles y Luvisoles (30 a 40 y 40 a 50 m).	40
4.6. Planicies intermontanas con Vertisoles, Stagnosoles, Cambisoles, Luvisoles y Leptosoles.	42
4.7. Depresiones y elevaciones kársticas.	44
4.8. Colinas kársticas con Cambisoles, Luvisoles y Vertisoles.	45
4.9. Lomeríos kársticos con Luvisoles, Vertisoles, Stagnosoles y Leptosoles.	45

4.10. Lomeríos técto-kársticos con Luvisoles, Leptosoles y Leptosoles. _____	46
5. A manera de conclusión _____	49
6. Principales referencias bibliográficas _____	52
Anexo I. Superficies de cobertura y uso de suelo por paisaje físico-geográfico. _____	57
Anexo II. Tipos de cobertura vegetal en Yucatán. _____	62
Anexo III. Grupos de suelo según la WRB (2006). _____	65

Índice de tablas

Tabla 1: Propiedades de la duración del periodo de lluvia. _____	11
Tabla 2: Aptitudes agrícolas de las diferentes geoformas y suelos. _____	21
Tabla 3: Zonas según la calidad agrícola del agua subterránea. _____	25
Tabla 4: Superficie ocupada por las coberturas y usos del suelo en el Estado de Yucatán. _____	28
Tabla 5: Planicies costeras. _____	36
Tabla 6: Planicies kársticas subhorizontales. _____	38
Tabla 7: Planicies kársticas (20 a 30 m). _____	39
Tabla 8: Planicies kársticas muy onduladas (30 a 40 y 40 a 50 m). _____	41
Tabla 9: Planicies intermontanas (palustres y kársticas). _____	42
Tabla 10: Depresiones y elevaciones kársticas. _____	45
Tabla 11: Colinas kársticas. _____	45
Tabla 12: Lomeríos kársticos. _____	46
Tabla 13: Lomeríos alineados tecto-kársticos. _____	48
Tabla 14: Superficies de cobertura y uso de suelo por paisaje físico-geográfico. _____	58

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de la duración del periodo de lluvia del Estado de Yucatán a escala 1:1700.000. _____	12
Figura 2: Mapa de impactos de huracanes y tormentas tropicales en el Estado de Yucatán. _____	14
Figura 3: Efectos de las mareas en la barra costera, el manglar y en la playa. _____	16
Figura 4: El relieve del Estado de Yucatán a escala 1:1 700 000: mapa de geoformas. _____	18
Figura 5: El relieve del Estado de Yucatán a escala 1:1 700 000: mapa de depresiones kársticas. _____	19
Figura 6: Mapa de suelos del Estado de Yucatán a escala 1:1 700. 000. _____	20
Figura 7: Clasificación maya de suelos _____	22
Figura 8: La salinidad y sodicidad del agua subterránea del Estado de Yucatán. _____	26
Figura 9: Cobertura y usos del suelo en el Estado de Yucatán. _____	29
Figura 10: Principales cultivos por municipio en el Estado de Yucatán. _____	30
Figura 11: La ganadería por municipio en el Estado de Yucatán. _____	32
Figura 12: Sitios de interés turístico en el Estado de Yucatán. _____	33
Figura 13: Actividades y productos en el análisis de los paisajes físico-geográficos. _____	35
Figura 14: Mapa de los paisajes físico-geográficos. _____	37

Figura 15: Mapa de aptitud potencial para agricultura de temporal en los paisajes fisicogeográficos. _____	40
Figura 16: Mapa de aptitud potencial para agricultura de riego en los paisajes fisicogeográficos. _____	43
Figura 17: Mapa de vulnerabilidad de inundación ante lluvias extremas. _____	44
Figura 18: Imagen de satélite sobre un modelo digital de elevación para observar los lomeríos alineados, lomeríos aislados al este y noreste, colina al sur y planicies kársticas al noroeste. _____	47
Figura 19: Perfil de un Stagnosol al sur del Estado. _____	48

Acrónimos

AR	Arenosol
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CIGA	Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental
CM	Cambisol
DPLL	Duración del período de lluvias
EC	Conductividad eléctrica (<i>Electrical conductivity</i>)
ES	Salinidad efectiva (<i>Effective salinity</i>)
GL	Gleysol
HS	Histosoles
IBTrACS	<i>International Best Track Archive for Climate Stewardship</i>
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (anteriormente INE, Instituto Nacional de Ecología)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
LP	Leptosol
LV	Luvisol
NCDC	Centro Nacional de Datos Climáticos de Estados Unidos (<i>National Climatic Data Center</i>)
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>)
NT	Nitisol
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PIB	Producto Interno Bruto
POETY	Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Yucatán
PS	Salinidad potencial (<i>Potential salinity</i>)
SAR	Relación de absorción de sodio (<i>Sodium adsorption relation</i>)
SC	Solonchack
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VR	Vertisol

1. Introducción

Este documento forma parte del proyecto para el desarrollo del Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático de Yucatán, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo y que coordina la empresa Factor CO₂. La puesta en marcha de este Programa responde a la voluntad de hacer frente a los efectos potenciales del cambio climático mediante dos líneas fundamentales de acción: la mitigación y la adaptación.

Para llevar a cabo acciones de adaptación, es fundamental conocer las características y los usos de los paisajes fisicogeográficos del Estado de Yucatán.

El objetivo de esta parte del proyecto fue la elaboración de un análisis del medio físico mediante el uso de mapas de diferentes coberturas temáticas y su integración en un mapa de paisajes fisicogeográficos con los usos del suelo más relevantes para su posterior relación con la vulnerabilidad del territorio ante la variabilidad y el cambio climático.

Antes de leer el documento se deben tener en cuenta tres consideraciones:

- a) Este documento es parte de del Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán. El título del documento refleja su contenido y más, ya que e incluyó la información edafológica, la calidad agrícola del agua subterránea y el mapa de paisajes con sus aplicaciones agronómicas.
- b) Este documento es de carácter técnico; sin embargo, mediante notas al pie de página y anexos, se pretende aclarar algunos términos técnicos.
- c) El documento presenta información geográfica mediante mapas con la finalidad de facilitar su lectura; sin embargo, en el sitio *ftp* del proyecto se han colocado las bases de datos en formato *shape file* que le dan validez numérica a los mapas. La mayoría de los mapas se trabajaron a escala 1:250,000 pero para ilustrar el documento se elaboraron a escala 1:700,000.

2. Descripción del medio físico

Se llevó a cabo la recopilación y captura de información climática, particularmente la duración del período de lluvia, que tiene importantes implicaciones agrícolas¹, así como mareográficas, geológicas, geomorfológicas², edáficas³, hidrológicas⁴ y de usos del suelo.

¹ Delgado, C. C., Bautista, F., Orellana-Lanza, R., Reyes-Hernández, H. *Classification and agroclimatic zoning using the relationship between precipitation and evapotranspiration in the state of Yucatan, Mexico*, en *Investigaciones geográficas*. 75: 51-60. 2011.

² Aguilar, Y. y Bautista, F. *Extrapolating the suitability of soils as natural reactors using an existing soil map: application of pedotransfer functions, spatial integration and validation procedures*, en *Tropical and subtropical agroecosystems*, 13: 221- 232. 2011.

Aguilar, Y., Bautista, F., Díaz-Pereira, E. *Soils as natural reactors for swine wastewater treatment*, en *Tropical and subtropical agroecosystems*, 13: 199- 210. 2011.

³ Bautista, F., Palacio, G. (UNAM). *Capítulo 24. Península de Yucatán*, en: *Geografía de suelos de México*. 2012.

Bautista F., D. Maldonado y A.J. Zinck. *La clasificación maya de suelos*. Ciencia y desarrollo, julio-agosto: 64-70. 2012.

Bautista, F., Palacio, G., Quintana, P., Zinck, A.J. *Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatán, Mexico*, en *Geomorphology*. 135: 308-321. 2011a.

Bautista, F., Balancán, A.M., Navarro, J., Bocco, G. *La percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México. Una visión desde la geografía*, en *Teoría y praxis*. 9:33-54. 2011b.

Bautista, F., Aguilar, Y., Batllori, E. *Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán*, en: *Teoría y praxis*. 9: 9-31. 2011c.

Bautista, F., Aguilar, Y., Rivas, H., Páez, R. *Los suelos del Estado de Yucatán*. En: *Importancia del binomio suelo-materia orgánica en el desarrollo sostenible*, en Martínez, M., Cabañas, D. (Agencia Española de Cooperación Internacional, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, España), pp. 11-42. 2007.

Bautista, F., Díaz-Garrido, M.S., Castillo-González, J.L.M., Zinck, A.J. *Spatial heterogeneity of the soil cover in the Yucatán Karst: comparison of Mayan, WRB and numerical classification*, en *Euroasian Soils Science*. 38(S1): 80-87. 2005 a

Bautista, F., García, J., Mizrahi, A. *Diagnóstico campesino de la situación agrícola en Hocabá, Yucatán*, en *Terra Latinoamericana*. 23(4): 571-580. 2005b.

Bautista-Zúñiga, F., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., González-Iturbe, J. *Relación entre relieve y unidades de suelo en zonas cársticas*, en *Terra Latinoamericana*. 22(3): 243-254. 2004.

Bautista-Zúñiga, F., Jiménez-Osornio, J., Navarro-Alberto, J., Manu, A. y Lozano, R. *Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos*, en *Terra*. 21: 1-11. 2003a.

Bautista-Zúñiga, F., Batllori-Sampedro, E. Ortiz-Pérez, M. A., Palacio-Aponte, G., Castillo-González, M. *Geoformas, agua y suelo en la Península de Yucatán*, en *Naturaleza y sociedad en el área maya*. Pp. 21-35. 2003b.

⁴ Delgado, C.C., Pacheco, A.J., Cabrera, S.A., Batllori, S.E., Orellana, R., Bautista F. *Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: the case of Yucatán, México*, en *Agricultural water management*. 97, 1423-1433. 2010.

2.1. La duración del período de lluvia para cultivos

En la mayor parte de la superficies del Estado de Yucatán la época de lluvias es de junio a octubre; sin embargo, considerando el balance entre la precipitación y la evapotranspiración con fines agrícolas, en algunas estaciones climatológicas se registra el inicio de la temporada de lluvias en mayo y en otras el término de la época de lluvias se retrasa hasta noviembre, diciembre, enero e incluso hasta febrero (Tabla 1). En otras palabras el balance precipitación-evapotranspiración indica que en el Estado de Yucatán se presenta una diversidad climática que tiene diferencias en cuanto al inicio y termino de la temporada de lluvias (Tabla 1).

La duración del periodo de lluvia (DPLL) también denominado longitud del periodo de crecimiento se calculó considerando la precipitación mensual y la mitad del valor de la evapotranspiración para cada estación meteorológica del Estado de Yucatán (Delgado et al., 2011).

La DPLL es de gran utilidad para clasificar las zonas según su uso agrícola de temporal o estacional (Figura 1). Las clases con valores de 1 a 3 meses se consideraron no aptas para la agricultura de temporal, de 3 a 4 meses son marginalmente aptas; de 4 a 5 meses son medianamente aptas, de 5 a 6 meses son aptas y mayor de 6 meses se consideró muy apta.

Tabla 1: Propiedades de la duración del periodo de lluvia.

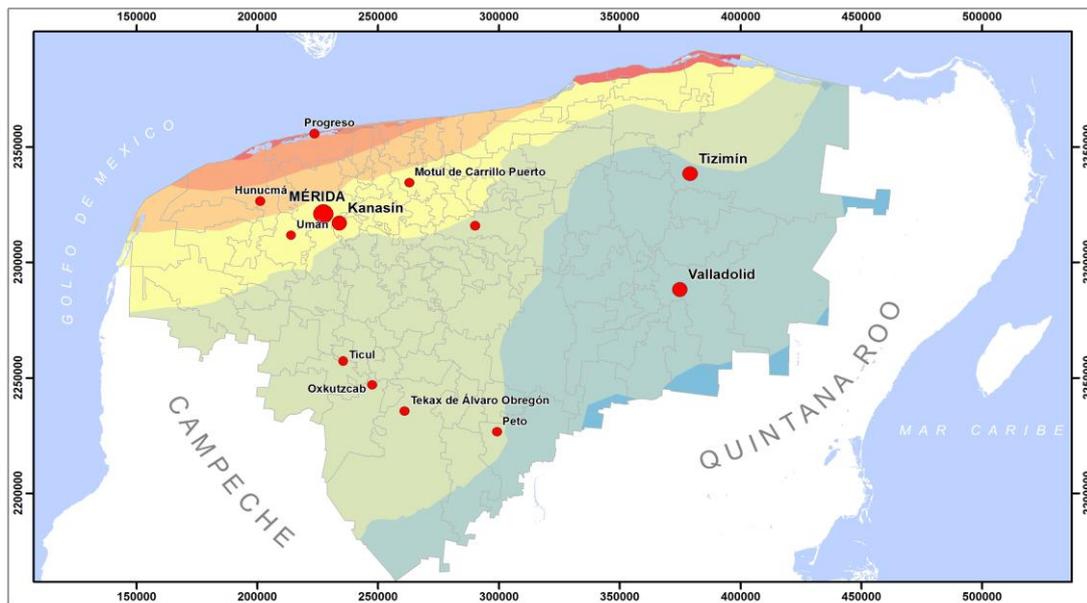
Fuente: Delgado et al., 2011.

Estaciones	Inicio DPLL	Final DPLL	Número DPLL	Tipo DPLL	DPLL meses	Presencia Periodo húmedo	Periodo húmedo meses	Clases agroclimáticas
Motul	Jun	Nov	1	Normal	6	Si	4	Medio
Muna	Jun	Nov	1	Normal	6	Si	2	Medio
Opichén	Jun	Nov	1	Normal	6	Si	4	Medio
Oxkutzcab	Jun	Nov	1	Normal	6	Si	4	Medio
Loché	Jun	Nov	1	Normal	6	Si	5	Medio
Valladolid	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Abalá	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Dzan	May	Nov	1	Normal	7	Si	5	Alto
Dzitás	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Dzitbalché	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Iturbide	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Peto	May	Nov	1	Normal	7	Si	3	Alto
Sotuta	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Tizimín	May	Nov	1	Normal	7	Si	4	Alto
Becanchén	May	Dic	1	Normal	8	Si	2	Muy alto
Calkiní	May	Dic	1	Normal	8	Si	4	Muy alto

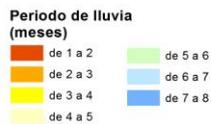
Catmís-Tz	May	Dic	1	Normal	8	Si	2	Muy alto
Chanchichimilá	May	Dic	1	Normal	8	Si	5	Muy alto
Tekax	May	Dic	1	Normal	8	Si	4	Muy alto
Tihosuco	May	Dic	1	Normal	8	Si	3	Muy alto
Kantunilkin	May	Ene	1	Normal	9	Si	5	Muy alto
Presumida	May	Ene	1	Normal	9	Si	6	Muy alto
Solferino	May	Feb	1	Normal	10	Si	5	Muy alto

DPLL= Duración del periodo de lluvias

Figura 1: Mapa de la duración del periodo de lluvia del Estado de Yucatán a escala 1:1700.000.⁵
Fuente: Delgado et al., 2011.



Zonificación agroecológica del Estado de Yucatán



Proyección: UTM Zona 16 Norte; WGS 84
Proyecto: "Elaboración, Publicación y Difusión del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) en el Estado de Yucatán"
Francisco Bautista, Thomas Ihl

Autor:
CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

El norte del Estado de Yucatán y particularmente al norte de Mérida se encuentra la zona de menores valores de la duración del periodo de lluvia, es la zona de menor probabilidad de éxito de los cultivos de temporal o estacionales (Figura 1).

⁵ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

Este mapa es de capital importancia para la programación de los cultivos de las diversas variedades de maíz, debido a que los campesinos mayas han generado variedades de maíz desde el mes de desarrollo (maíces tempranos) hasta los maíces tardíos que tardan siete y ocho meses en completar su desarrollo. En Yucatán el 42,8% de la población es de origen maya y el 16% vive en localidades rurales, ellos obtienen gran parte de su sustento de la agricultura de temporal de roza, tumba y quema (INEGI, 2010).

Esta variabilidad en la duración del periodo de lluvia influye también en las cubiertas vegetales que van desde matorrales xerófilos a selvas medianas.

Tanto los eventos climáticos extremos, como por ejemplo la precipitación y los suelos, permiten o no el establecimiento de las plantas, dando lugar a los diversos tipos de cobertura vegetal (Anexo II). El mapa de la DPLL se encuentra en concordancia con ambos factores (precipitación y suelos), así como con el mapa de cobertura vegetal (Olmsted et al., 1999).

2.2. Huracanes y tormentas tropicales

Se utilizó la base de datos generada por el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América. El archivo cuenta con un registro de huracanes desde el año 1851 hasta 2011. Ellos manejan una base llamada IBTrACS (International Best Track Archive for Climate Stewardship). Con la base de datos se realizó el mapa de huracanes y tormentas tropicales (Figura 2).

En el mapa se muestra la ubicación, trayectoria e intensidad de los huracanes y tormentas tropicales a lo largo del tiempo. El objetivo de este análisis es observar la trayectoria de los huracanes e identificar el peligro en cada zona.

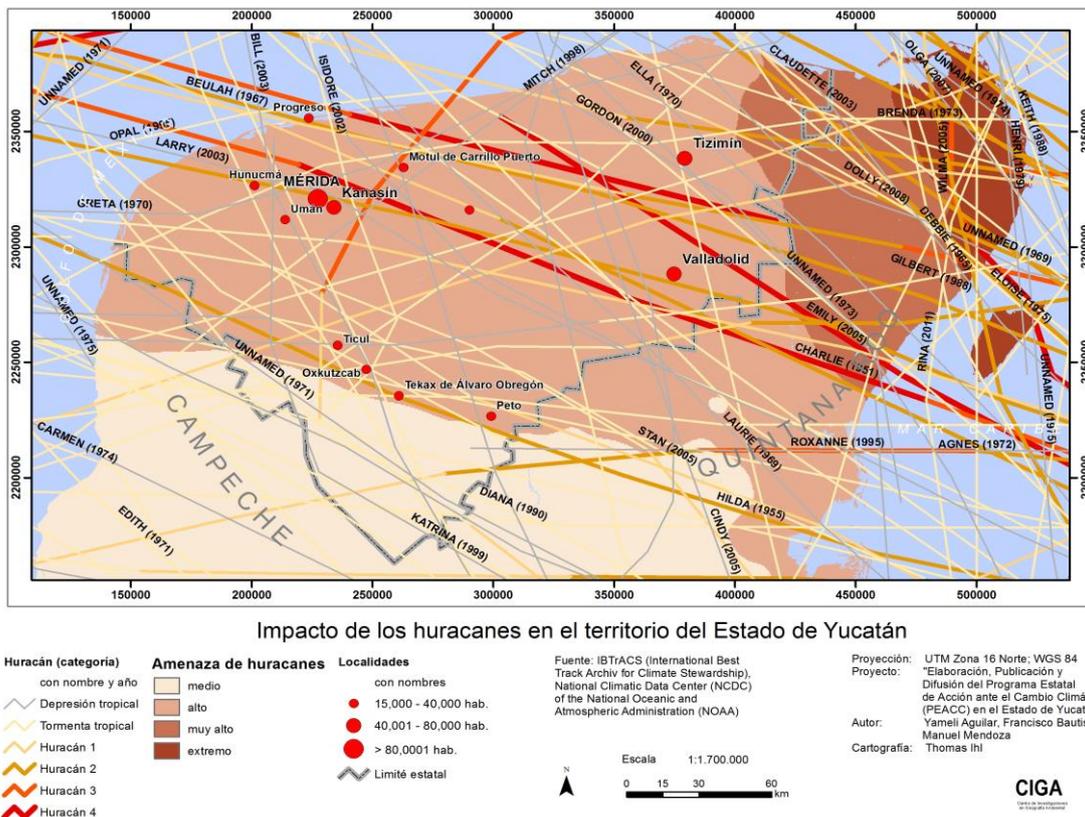
Con el atributo de velocidad de vientos se pueden clasificar los huracanes según la escala de Saffir-Simpson; ver lineamientos en la figura 2 (primera columna de la leyenda). Las categorías son:

- Uno. Daños mínimos, vientos de 74 a 95 millas por hora (64-82 nudos o 119-153 km/h).

- Dos. Daños moderados, vientos de 96 a 110 millas por hora (83-95 nudos o 154-177 km/h).
- Tres. Daños extensos, vientos de 111 a 130 millas por hora (96 a 113 nudos o 178 a 209 km.).
- Cuatro. Daños extremos, vientos de 131 a 155 millas por hora (114 a 135 nudos; 210-249 km/h)
- Cinco. Daños catastróficos, vientos superiores a 155 millas por hora (135 nudos o más de 249 km/h)

Figura 2: Mapa de impactos de huracanes y tormentas tropicales en el Estado de Yucatán.

Fuente: CIGA.



Los huracanes son eventos extremos entre otros como inundaciones, erosiones costeras y solución de rocas kársticas etc. La importancia radica en el poder destructivo de los huracanes, que no solo causan daños por el viento, sino también por el oleaje de tormenta y la depresión, inundaciones durante y después del impacto e incendios forestales en la temporada seca después del impacto (KONRAD 2003).

Para identificar zonas de alta peligrosidad de impacto de huracanes, se elaboró una capa con la cantidad de impactos por el norte de la península de Yucatán. Entonces podemos identificar la zona Cabo Catoche-Cancún-Cozumel con una amenaza más alta de la península de Yucatán (Figura 2). El riesgo se disminuye desde el noreste al suroeste de la península. Los daños son más graves donde el huracán impacta por primera vez al continente. Eso ocurre en la península normalmente en la costa del Caribe en Quintana Roo. Pero hay eventos raros de impacto por primera vez por el lado del golfo, como en el caso del huracán Isidoro (septiembre de 2002) que causó daños extremos tanto en la costa como en el sur.

2.3. Mareas

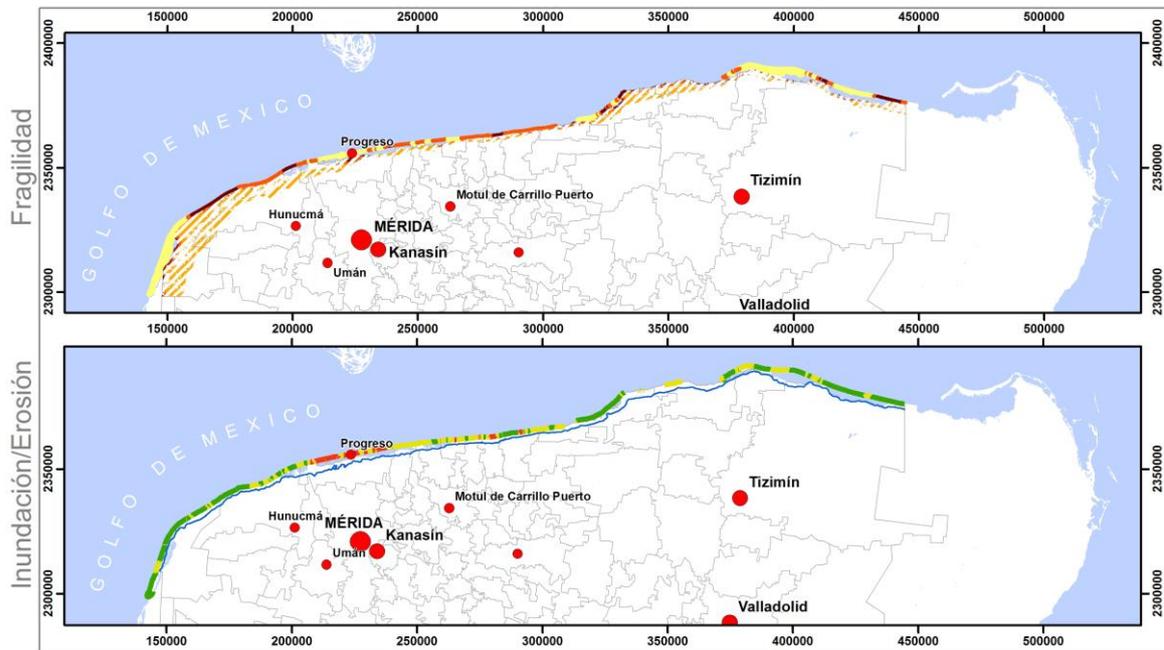
El litoral es una zona muy dinámica en todas sus geofomas y tipos de vegetación, el litoral constituye una barrera contra las mareas. Las mareas pueden ser silenciosas y de baja energía pero también pueden llegar a ser de media y hasta alta energía con la presencia de huracanes. Tomamos como base de información el estudio "elaboración, publicación y difusión del Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) en el Estado de Yucatán" y el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Costa de Yucatán (POETCY, 2007; Batllori, 2006). Con dicha base de datos se elaboró la figura 3.

En el mapa se identifican los niveles de fragilidad de las islas de barrera, la fragilidad del manglar y las zonas de vulnerabilidad de erosión de la playa. El estudio anterior establece el ancho de la barra o los manglares como criterio de fragilidad: Muy frágil menos 200 m, altamente frágil 200 – 500 m y medianamente más de 500 m (Konrad, 2003).

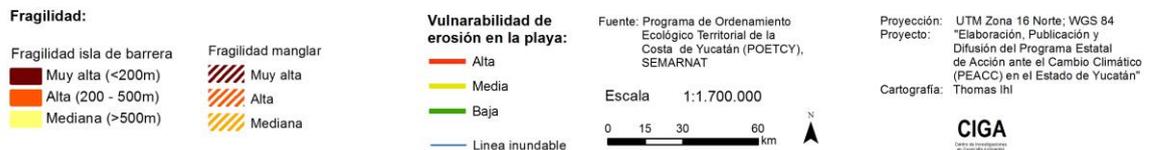
Particularmente, la barra costera es vulnerable a eventos extremos como el "Overwash" o flujo de sedimentos tierra adentro, más allá del área de dunas (barra) y la incisión de una nueva entrada al estero posterior (Figura 3). Por esta razón Protección Civil maneja diversos peligros según el ancho de la barra. Los manglares degradados no pueden cumplir su función natural protectora.

En las zonas de alta vulnerabilidad de erosión de la playa las casas veraniegas se encuentran en riesgo, principalmente las localizadas en la playa o en la duna adyacente.

Figura 3: Efectos de las mareas en la barra costera, el manglar y en la playa.⁶
Fuente: CIGA.



Mareas en la costa del Estado de Yucatán



2.4. Geoformas y suelos

En el Estado de Yucatán se reportan dos tipos de calizas, uno al sureste, con calizas del Plioceno-Mioceno de color crema y pardo, microcristalinas y con una gran cantidad de fósiles y, en el resto del Estado, se presentan calizas del Eoceno de grano fino, silicatadas y con escasa presencia de fósiles (Bautista et al., 2012). Se reportan dos grandes planicies estructurales y kársticas, además, planicies costeras, una zona palustre con petenes, el semicírculo de cenotes y los lomeríos tecto-kárstico (lomas alineadas localmente denominadas como "sierrita de Ticul" y lomeríos kársticos

⁶ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000

(aislados en forma de cono) que constituyen los rasgos geomorfológicos principales (Lugo y García, 1999; Bautista et al., 2003ab) (Figura 4).

Las depresiones kársticas son otro rasgo geomorfológico importante y distintivo del Estado de Yucatán por lo que se presenta un mapa a escala 1:100 000 en el que se muestra la densidad y tipo de las depresiones kársticas. Cabe destacar que las depresiones que forman el semicírculo de cenotes forman los flujos principales del agua subterránea hacia el mar (Figura 5).

Cada paisaje geomorfológico tiene una asociación de suelos particular. El grupo Leptosol (LP) es omnipresente, es el suelo de menor desarrollo con secuencias de horizontes AC y AR. Como los suelos y el relieve se desarrollan de manera conjunta es posible establecer relaciones, como por ejemplo: a) las planicies kársticas subhorizontales con LP; b) planicies kársticas onduladas con LP y Cambisoles (CM); Planicies kársticas colinosas con LP/CM/ Luvisoles (LV), etc. (Tabla 2). Se observa mayor desarrollo edafológico en los lomeríos kársticos y tecto-kársticos (Bautista et al., 2011).

A cada geoforma y su asociación de suelos es posible asignarle una clase de aptitud agrícola (Tabla 2) (Figura 6).

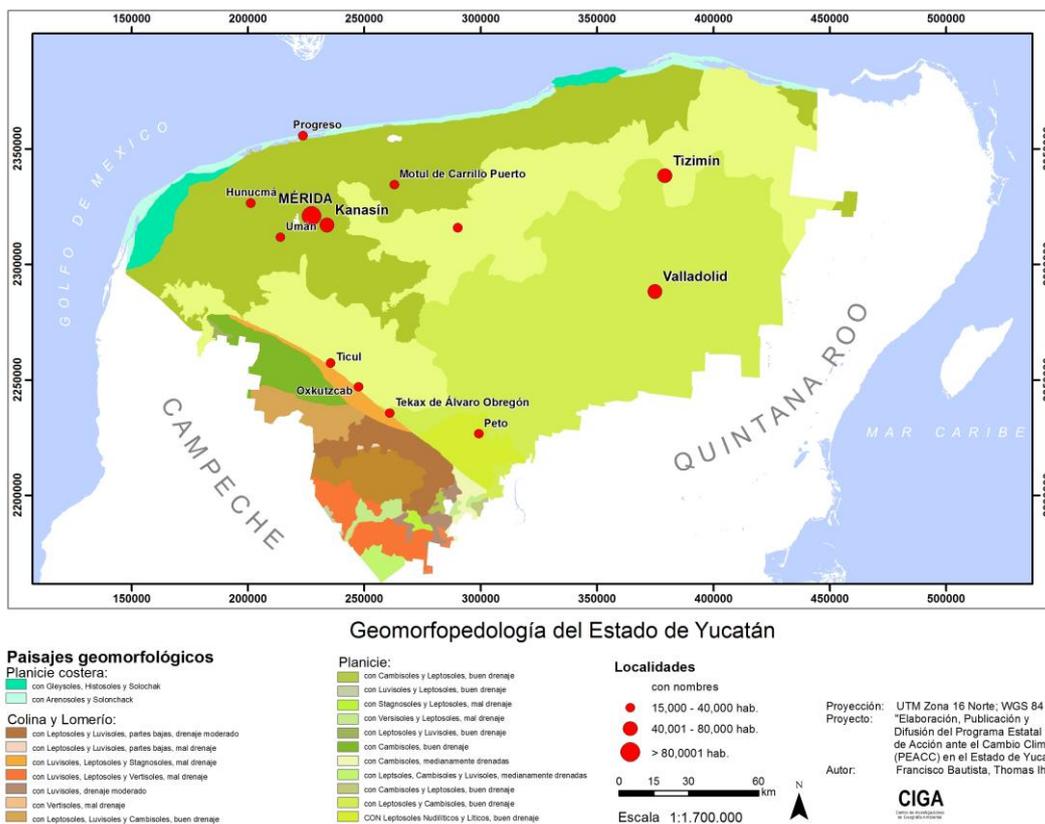
Cabe destacar que en las comunidades mayas la gente conserva la nomenclatura maya de los suelos, nombres que denotan las propiedades físicas principales de los suelos, color, contenido de grava (fragmentos de 2 a 75 mm), pedregosidad (fragmentos de 75 a 600 mm), rocosidad (fragmentos mayores a 600 mm), profundidad, textura, estructura y drenaje (Bautista y Zinck, 2010). Los mayas analizan también la vegetación y su posición en el relieve, además del tamaño del área, elementos que constituyen criterios de diferenciación en algunos sitios particulares. Recientemente, el conjunto de nombres mayas ha sido ordenado a manera de una clasificación formal de suelos, lográndose un esquema de clasificación muy semejante al de la WRB (Bautista y Zinck, 2010) (Figura 7).

En la WRB se juntan los suelos rocosos y pedregosos, dando lugar al grupo de los Leptosoles, mientras que la clasificación maya los mantiene separados. Estos suelos, que son los de mayor extensión a escala mundial, ocupan alrededor de 24% del territorio mexicano y cubren más de 80% del Estado de Yucatán. Trabajando por siglos esta extensa superficie de suelos poco profundos en paisaje de karst calcáreo, los mayas se convirtieron en experimentados conocedores del grupo de los Leptosoles.

Los suelos afectados por mal drenaje son de dos tipos. La clase de los *Ak'al che'* corresponde a suelos temporalmente inundados y con agua a poca profundidad,

ubicados en las depresiones entre las lomas. La otra clase abarca a los *Yaax kom*, que cubren grandes áreas que se encharcan como resultado de lluvias abundantes y extraordinarias. Ambos conceptos mayas integran relieve, hidrología, comunidades vegetales y suelos. Por ejemplo, *Akal* significa área inundada y *Che* significa árbol o vegetación, razón por la cual la combinación de los dos términos en *Ak'al che'* se refiere a zonas pantanosas con suelos estacionalmente inundados y cubiertos de árboles.

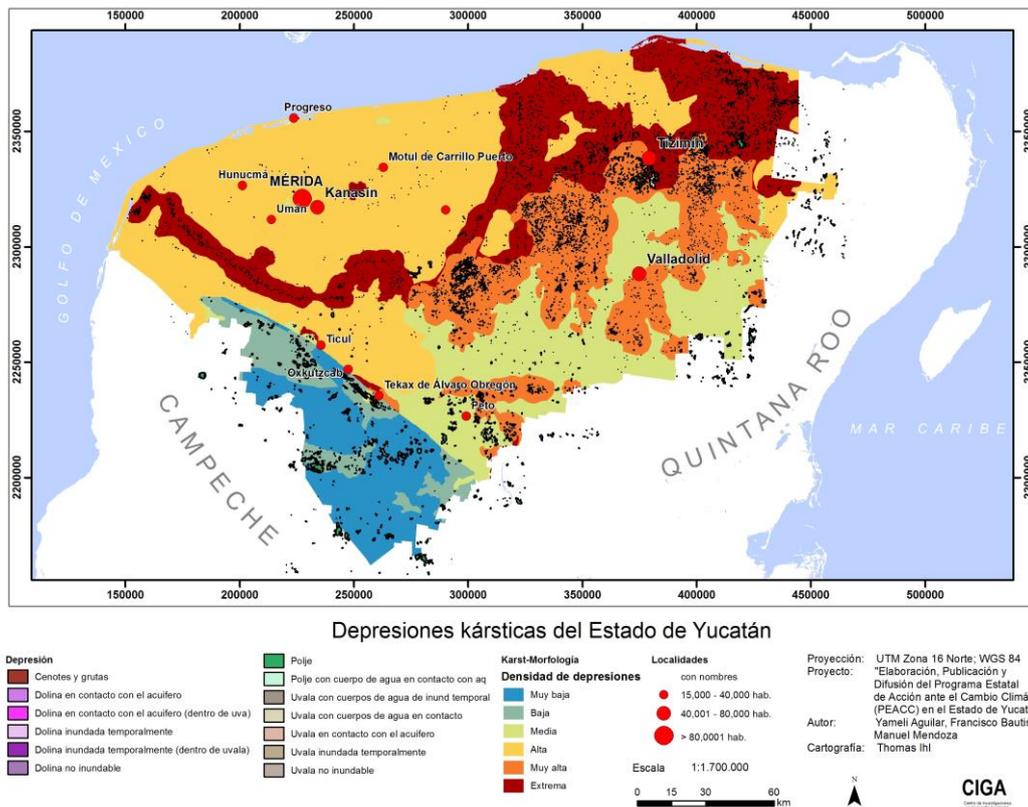
Figura 4: El relieve del Estado de Yucatán a escala 1:1 700 000: mapa de geomorfos⁷. Fuente: (Aguilar et al., 2013).



⁷ La escala de trabajo de este mapa fue 1:100 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

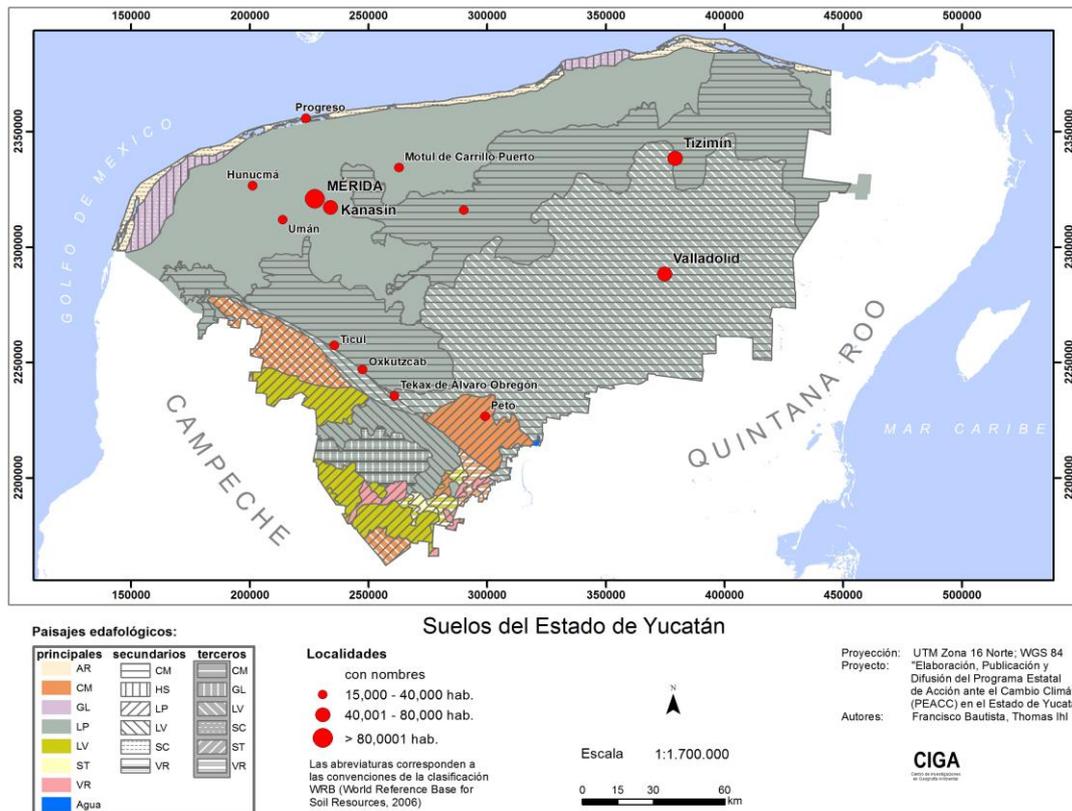
Los mayas distinguen clases de suelo con base en variaciones de color en los horizontes subsuperficiales y entre las capas con la profundidad del suelo. Suelos de esta clase son frecuentes en el sur de la península y se encuentran también en pequeñas áreas del norte. Por ejemplo, *K'an kab lu'um* significa literalmente 'suelo con color amarillo abajo', mientras que *Ek' lu'um* significa 'suelo oscuro en la superficie'. Esto cambia la creencia de que los indígenas sólo clasifican la capa superficial del suelo. En contraste, *Chak lu'um* son suelos rojos sin diferencia de color entre las capas del suelo. Los suelos arenosos de color gris o blanquecino son denominados *Pupuski lu'um*, los cuales se localizan en la planicie costera (Bautista et al., 2012).

Figura 5: El relieve del Estado de Yucatán a escala 1:1 700 000: mapa de depresiones kársticas.⁸
Fuente: Aguilar et al., 2013.



⁸ La escala de trabajo de este mapa fue 1:100 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000

Figura 6: Mapa de suelos del Estado de Yucatán a escala 1:1 700. 000. ⁹
Fuente: Bautista *et al.*, 2013.



Todo este conocimiento es integrado por los agricultores mayas al momento de seleccionar cultivos y prácticas agrícolas. Las propiedades de los suelos también se tomaron en cuenta en la construcción de las pirámides. Existen otras prácticas relacionadas con el uso del suelo que no han sido exploradas aún, como por ejemplo la ingesta del suelo blanco denominado *Sak luum* que se utiliza para curar la diarrea.

La clasificación maya de suelos, al igual que cualquier tipo de clasificación, es un es una herramienta intelectual y un medio de comunicación que permitirá el mejor entendimiento entre campesinos y técnicos para el diseño y manejo de los suelos en la entidad.

⁹ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

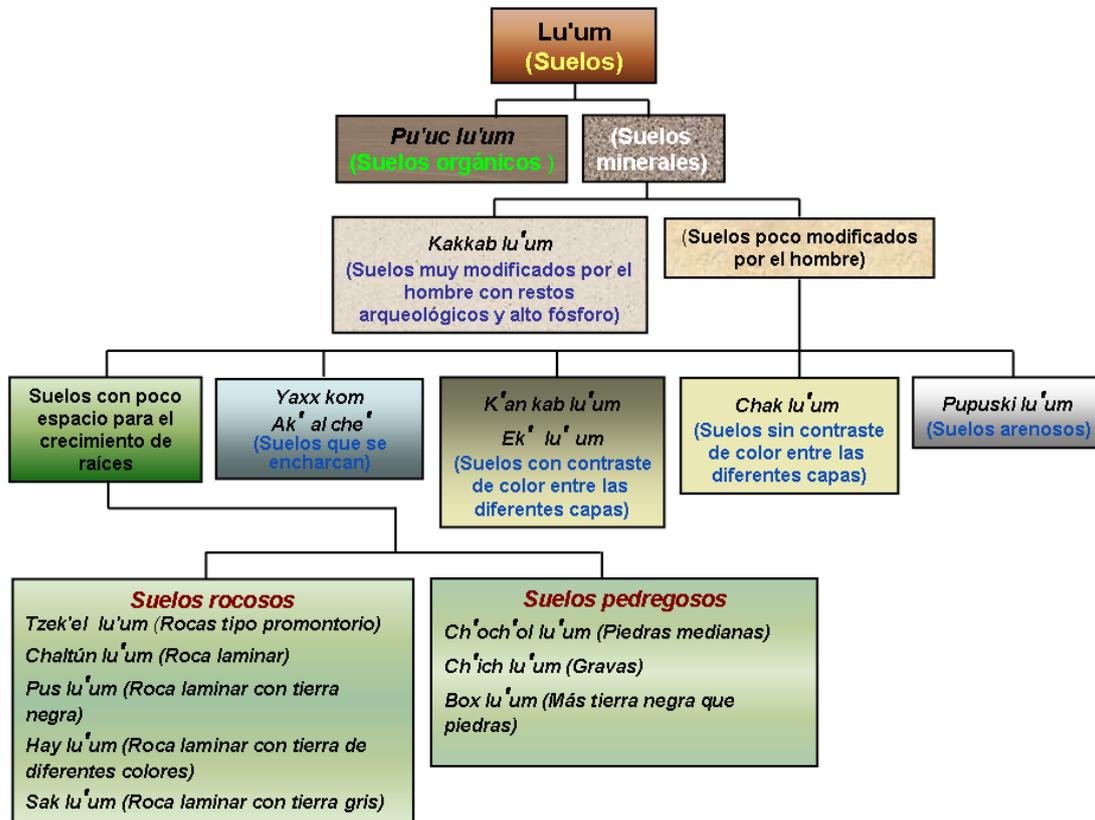
Tabla 2: Aptitudes agrícolas de las diferentes geoformas y suelos.

Fuente: Bautista *et al.*, 2013.

Geoformas/Suelos	Aptitud agrícola
Planicies costeras	
A-AR/SC	NA
Planicies palustres	
AB-GL/HS/SC	NA
Planicies Kársticas	
B-LP	A3
C-LP/CM	A3
D-LP/CM/LV	A2
E-CM/LP	A2
Planicies kársticas intermontanas	
F1-LP/LV	A2
F2-VR/LP	A1
F3-VR/LP	A1
F4-CM/LP	A2
F5-ST/LP	A2
F6-VR/LP	A1
F7-VR/LP	A1
F8-LP/LV	A2
Cuerpos de agua	
G-Laguna	NA
G-Cenotes	NA
Elevaciones aisladas	
H-LP	NA
Colinas	
J1-CM/LP/VR	A2
J2a-CM/LP/LV	A2
J2b-CM/LP/VR	A2
J3-CM/LP/LV	A2
Lomeríos kársticos	
K1-LV/LP	A1
K2-LV/LP/VR	A1
K3-LV/LP/ST	A1
K4-VR/LP	A1
Lomeríos tecto-kársticos	
L1-LP/LV/CM	A2
L2-LP/LV	A2
L3-LP/VR/GL	A2

LP= Leptosoles; CM= Cambisoles; LV= Luvisoles; VR= Vertisoles; GL= Gleysoles; AR= Arenosoles; SC= Solonchack; HS= Histosoles; NA= No apto; A1= apto; A2= Medianamente apto; y A3= marginalmente apto.

Figura 7: Clasificación maya de suelos ¹⁰
Fuente: Bautista *et al.*, 2010; 2012.



Un ejemplo del uso de la clasificación maya de suelos es aspectos ambientales es su utilización para la identificación de sitios que se podrían inundar ante precipitaciones extremas: los casos de los suelos Ak' alche' y Yaxx kom.

2.5. El agua subterránea y su calidad agrícola

La península de Yucatán es la mayor reserva de agua en México y en el Estado de Yucatán se reconoce su importancia estratégica en el desarrollo de la entidad y en la salud de la población. El acuífero es la principal fuente de agua para consumo

¹⁰ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

humano y para las actividades agrícolas e industriales (Escolero et al., 2000, 2002; Perry et al., 2002).

La valoración de la importancia del agua subterránea ha propiciado una gran variedad de estudios, como por ejemplo: a) la investigación desde el punto de vista hidrogeológico para la identificación de los flujos regionales (Perry et al, 2002; Marín et al, 2004); b) la dirección del flujo, permeabilidad al agua, los riesgos de intrusión salina del mar (Marín y Perry, 1994; Marín, 1995; Steinich y Marín, 1997; Escolero et al, 2000, 2002); c) los riesgos para la salud humana relacionados con la concentración de nitratos, contenido de bacterias fecales y totales (Pacheco et al, 2000;. Escolero et al, 2002); y d) y la contaminación debido a los residuos municipales, industriales y agrícolas (Pacheco y Cabrera, 1996; Marín et al, 2000).

De acuerdo con Delgado et al (2010), el acuífero kárstico confinado en el Estado de Yucatán es una lente de agua dulce flotando sobre agua salada más densa que penetra más de 40 km tierra adentro. La transmisividad del acuífero es muy alta y el gradiente hidráulico es muy bajo, que va desde 7 a 10 mm/km a través de la mayor parte del sector norte (Marín et al, 1990;. Graniel, 2001). La capa freática está directamente relacionada con el nivel del mar, está a menos de 3 m sobre el nivel del mar hasta los 100 km tierra adentro. El anillo de cenotes (depresión natural o sumidero en el entorno kárstico) funciona como una zona de flujo preferente que conduce el agua subterránea hasta la costa y el Golfo de México. La fractura Ticul funciona como una barrera que conduce el flujo de agua subterránea hacia la costa noroeste del Estado de Yucatán, los sulfatos van desde el sur hacia la costa. El acuífero recibe iones a partir de dos fuentes principales: naturales de disolución de los minerales y la mezcla debido a la intrusión de agua de mar (Marín y col, 1990; Graniel, 2001; González-Herrera et al, 2002; Perry et al, 2002).

En general se cree que el agua subterránea es de buena calidad. Por esta razón, en el Estado de Yucatán, la calidad agrícola de las aguas subterráneas ha sido poco estudiada; sin embargo, Delgado et al (2010) identificaron y caracterizaron las zonas con cualidades distintivas de agua subterránea para uso agrícola. Delgado y colaboradores (2010) tomaron muestras de 113 pozos; midieron concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- y la conductividad eléctrica (CE). Calcularon índices como la relación de adsorción de sodio (SAR), la salinidad potencial (PS) y la salinidad efectiva (ES) (Richards, 1954; Palacios y Aceves, 1970). Además realizaron un análisis geoestadísticos y la elaboración de los mapas.

La calidad agrícola del agua se evaluó de acuerdo con el diagrama de clasificación de agua de riego con base en la EC y SAR propuesta por Richards (1954). Las clases para la EC con fines agrícolas son: C1) baja salinidad (0 - 0.250 dS m⁻¹); C2) salinidad media (0.250 - 0.750 dS m⁻¹); C3) salinidad alta (0.750 - 2.250 dS m⁻¹); y C4) salinidad muy alta (>2.250 dS m⁻¹). Las clases de calidad agrícola del agua con base en el SAR son: S1) bajo; S2) medio; S3) alto; S4) muy alto. Los valores de las clases de SAR varían dependiendo de los valores de la EC.

Se identificaron seis zonas (Tabla 3):

- 1) Zona I, la calidad del agua no fue recomendado por EC y ES
- 2) Zona II, la calidad del agua no se recomienda por la EC, cloruros, PS y ES
- 3) Zona III, la calidad del agua era no se recomienda por la EC y ES
- 4) Zona IV, la calidad del agua está condicionada por ES, pero no se recomienda por la CE, los valores de cloruros clasifican como leves a moderados y PS como condicionada y buena
- 5) Zona V, la calidad del agua no fue recomendado por CE + SAR, de leve a moderada por cloruros, condicionadas por PS y ES
- 6) Zona VI, la calidad del agua se clasifica como C₃S₁, los valores de cloruros, PS y ES clasifican como buena.

Esta información será relevante en la toma de decisiones para la planificación agrícola y ambiental del gobierno.

La calidad del agua subterránea de las zonas I, II y III no es apta (NA) para su uso agrícola debido a la conductividad eléctrica, la ES; cloruros, PS, sulfatos y la SAR (Tabla 3). La calidad agrícola del agua subterránea es marginalmente apta (A3) para su uso agrícola en las zonas IV y V y en la Zona VI se tiene una calidad del agua medianamente apta (A2) para su uso agrícola (Figura 8).

Se debe tener cuidado con la cantidad de agua utilizada en el riego agrícola principalmente en aquellos suelos de drenaje deficiente como los de los grupos Vertisol y Stagnosol ya que en ellos podría acumularse el sodio y las sales.

Las sales podrían disminuir considerablemente la producción agrícola en el corto plazo por lo que se recomienda solo utilizarla en caso necesario en las zonas IV y V. En las zonas I, II y III no se recomienda su uso agrícola por la gran cantidad de sales (C₃ y C₄).

Tabla 3: Zonas según la calidad agrícola del agua subterránea.

Fuente: Delgado *et al.*, 2010.

WR = sin restricción; S-M = restricción de ligera a moderada; S = restricción severa; G = Buena calidad; C = calidad condicionada; N = No recomendada; ES = salinidad efectiva; SAR = Relación de absorción de sodio; PS = Salinidad potencial; EC = Conductividad eléctrica. NA= No apta, A3= marginalmente apta; A2= medianamente apta.

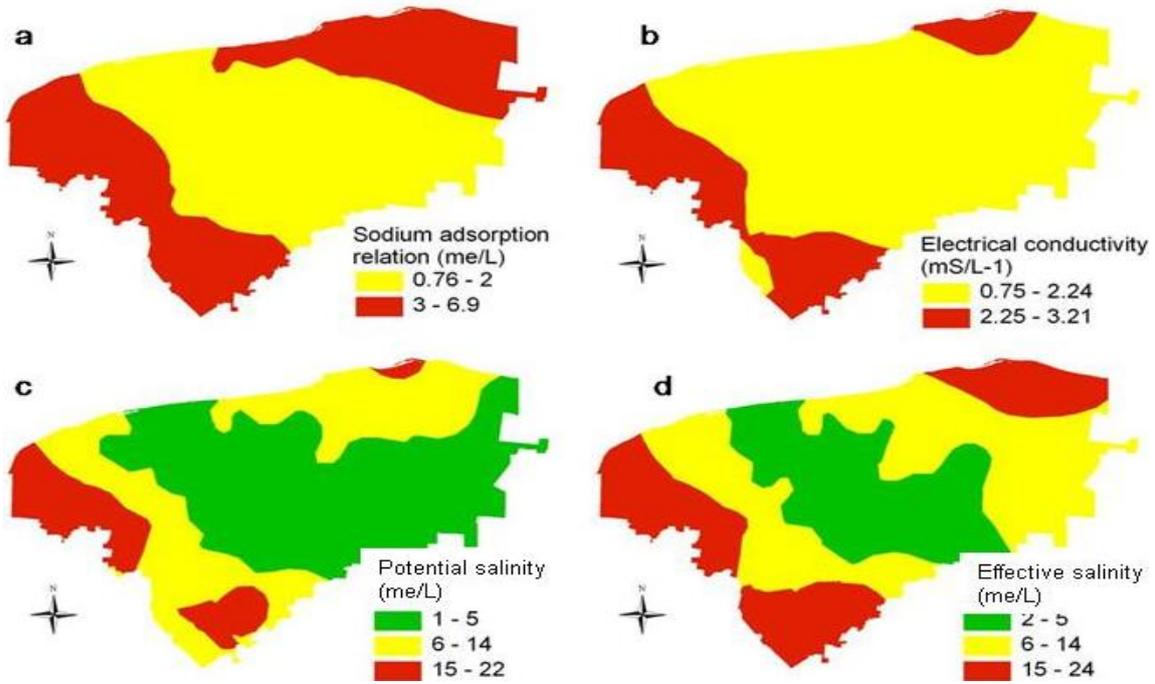
Zonas	Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)	PS (mmol _e L ⁻¹)	ES (mmol _e L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	SAR (mmol _e L ⁻¹) ^{0.5}	EC (dS m ⁻¹)	Clasificación EC + SAR Aptitud de uso
I	4 - 9 = S- M 10 - 18 = S	6 - 14 = C 15 - 22 = N	15 - 24 = N	0 - 2.5	3 - 6.9	0.75 - 2.24 2.25 - 3.21	C ₃ S ₁ C ₄ S ₂ NA
II	10 - 18 = S	15 - 22 = N	15 - 24 = N	0 - 2.5 2.6 - 5	3 - 6.9	2.25 - 3.21	C ₄ S ₂ NA
III	4 - 9 = S- M 10 - 18 = S	6 - 14 = C 15 - 22 = N	15 - 24 = N	2.5 - 5 5.1 - 7	3 - 6.9	0.75 - 2.24 2.25 - 3.21	C ₃ S ₁ NA C ₄ S ₂
IV	4 - 9 = S- M	1 - 5 = G 6 - 14 = C	6 - 14 = C	0 - 2.5	0.76 - 2 3 - 6.9	0.75 - 2.24	C ₃ S ₁ A3 C ₃ S ₂
V	4 - 9 = S- M	6 - 14 = C	6 - 14 = C	0 - 2.5	0.76 - 2 3 - 6.9	0.75 - 2.24	C ₃ S ₁ A3 C ₃ S ₂
VI	< 4 = WR	1 - 5 = G	2 - 5 = G	0 - 2.5	0.76 - 2	0.75 - 2.24	C ₃ S ₁ A2

Por su parte, el sodio podría llegar a destruir la estructura del suelo propiciando el cambio de suelos de drenaje deficiente a suelos de drenaje impedido con sus consecuentes daños en la producción vegetal.

Se recomienda que el agua de las clases A3 sea utilizada únicamente como riego de auxilio debido a las sales que contiene, de la misma manera, deben seleccionarse cultivos tolerantes a la salinidad, principalmente por cloro y sodio.

Figura 8: La salinidad y sodicidad del agua subterránea del Estado de Yucatán.

Fuente: Delgado *et al.*, 2010.



3. Cobertura y usos de la tierra.

3.1. Cobertura vegetal y usos de la tierra.

Con base en la información cartográfica del programa de ordenamiento ecológico del territorio se reporta que en el Estado de Yucatán realizado en 2005 se tiene una cobertura vegetal natural que ocupa el 52.81% de la superficie, seguida de una cobertura de uso de la tierra del 46.51% (sumatoria de agricultura de temporal, pastizal cultivado, pastizal inducido, agricultura de riego y los asentamientos humanos, con un 0.34% de superficie con algún tipo de degradación (superficies con riego suspendido y las zonas sin vegetación aparente) y un 0.32% de superficie con cuerpos de agua (Cenotes) (Tabla 4). En el anexo se muestra el recuento de las coberturas de uso de la tierra por paisaje físico-geográfico.

Las principales coberturas son: Selva mediana caducifolia y subcaducifolia (30.18%), agricultura de temporal (22.49%); pastizal cultivado (21.64%); y selva baja caducifolia y subcaducifolia (13.62%). Sin embargo, para el año 2010 Duran y García reportan que más del 80% de la cobertura vegetal natural ha sido perturbada, quedando solamente selva mediana subcaducifolia (8.58%), selva baja caducifolia (4.6%), manglar (2.95%), selva mediana subperennifolia (0.17%) y duna costera (1.7%).

En el mapa de cobertura y uso de suelo (Figura 9) se incluyen como puntos los cenotes¹¹ y las industrias¹² por su importancia estratégica y por su importancia económica, respectivamente. Más del 90% de la actividad industrial se encuentra en Mérida, la ciudad capital del Estado de Yucatán.

La biodiversidad natural se localiza en los once tipos de coberturas vegetales naturales entre selvas altas, medianas y bajas; en los popales y tulares, sabana, manglar, vegetación de duna costera y en la vegetación halófila y gipsófila¹³. Una gran biodiversidad en un terreno aparentemente "homogéneo" pero que en realidad es de

¹¹ Aguilar Duarte, Yameli Guadalupe. *Modelo conceptual y cartográfico de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en karst tropical con un enfoque geopedológico y uso de árboles de decisión*. Doctorado en Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. En proceso. 2013.

¹² Cabañas, D., Reza, G., Sauri, M. R., Méndez, R.I., Bautista, F. y Manrique, W. *Inventario de fuentes potenciales de residuos peligrosos en el interior del Estado de Yucatán*, en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26 (4) 269-277. 2010.

¹³ POETY, consulta realizada en 2013.

CIGA. *Mapa de cobertura y usos del suelo en el Estado de Yucatán*. 2013.

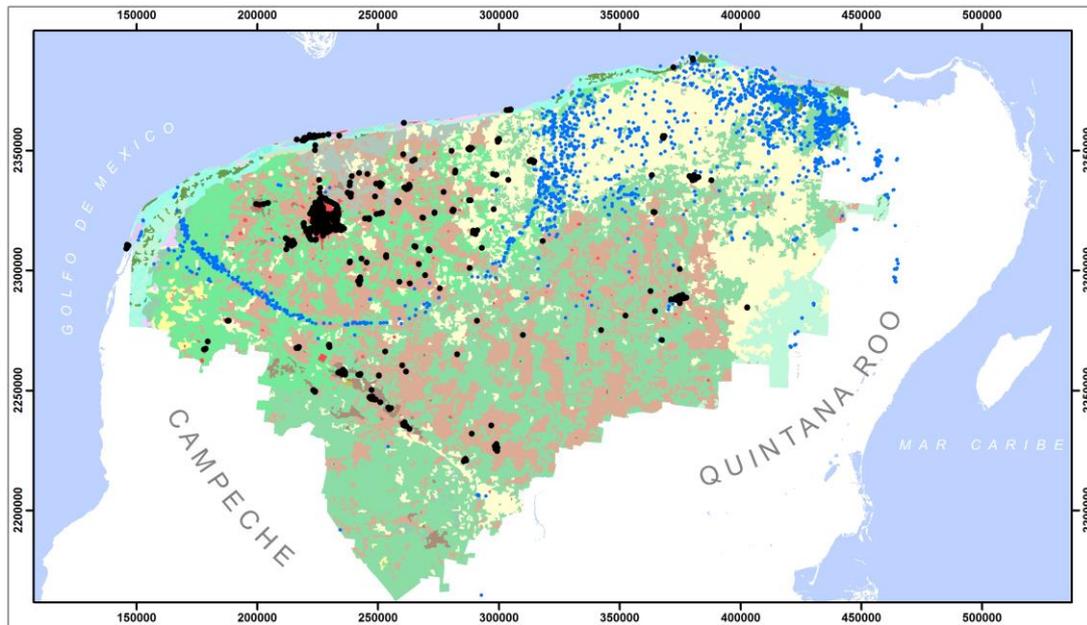
una gran geodiversidad en términos de clima (Figuras 1, 2 y 3), rocas, geoformas (Figuras 4 y 5) y suelos (Figura 6).

Tabla 4: Superficie ocupada por las coberturas y usos del suelo en el Estado de Yucatán.

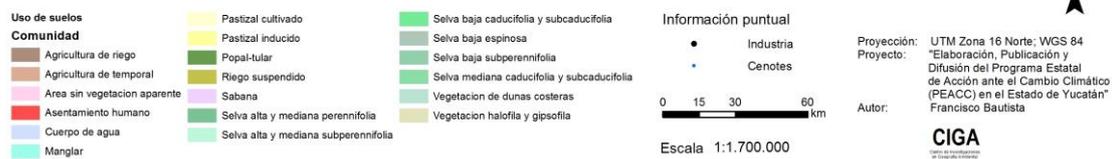
Fuente: POETY, 2013.

Tipo de uso	Comunidad	Área (ha)	(%)
Cobertura natural (52.81%)	Manglar	86412.6	2.18
	Popal-tular	29258.69	0.74
	Sabana	6924.05	0.17
	Vegetación de dunas costeras	6337.81	0.16
	Vegetación halófila y gipsofila	6644.67	0.17
	Selva alta y mediana perennifolia	81.37	0
	Selva alta y mediana subperennifolia	137212.81	3.46
	Selva baja caducifolia y subcaducifolia	539631.29	13.62
	Selva baja espinosa	63948.66	1.61
	Selva baja subperennifolia	20607.93	0.52
Cobertura en uso (46.51%)	Selva mediana caducifolia y subcaducifolia	1195288.2	30.18
	Agricultura de riego (incluye riego eventual)	33847.43	0.85
	Agricultura de temporal	891016.62	22.49
	Asentamiento humano	43616.34	1.1
Cobertura degradada (0.34%)	Pastizal cultivado	857329.78	21.64
	Pastizal inducido	16882.34	0.43
	Riego suspendido	743.79	0.02
	Área sin vegetación aparente	12724.86	0.32
	Cuerpo de agua	12529.4	0.32
	Total del estado	3961038.6	100

Figura 9: Cobertura y usos del suelo en el Estado de Yucatán.¹⁴
Fuente: CIGA.



Usos de suelos y cobertura vegetal en el Estado de Yucatán



3.2. Agricultura.

La agricultura de temporal es la actividad mediante la cual un alto porcentaje de la población obtiene los recursos para su subsistencia ya que el 22,49% de la superficie del estado utiliza la roza, tumba y quema para producción de subsistencia (Tabla 3). Aunque también hay pequeños y medianos ranchos ganaderos que ocupan el 22.06% de la superficie del estado con pastizales (Tabla 3).

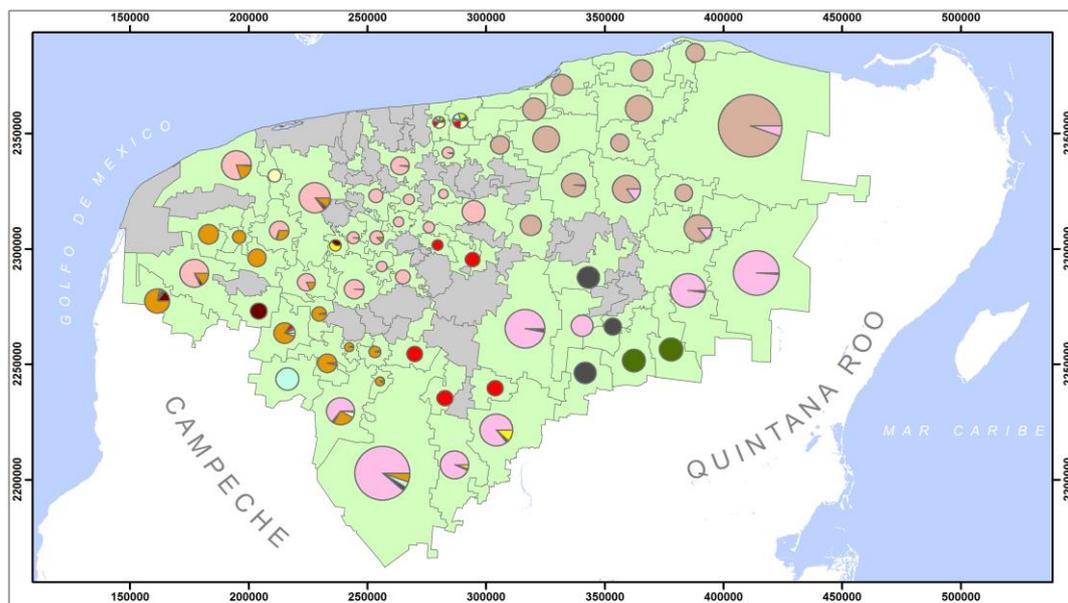
¹⁴ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

Con base en la información oficial (POETY, 2007) en la cual se considera la producción agrícola por municipio se realizó un análisis de los principales cultivos (Figura 10).

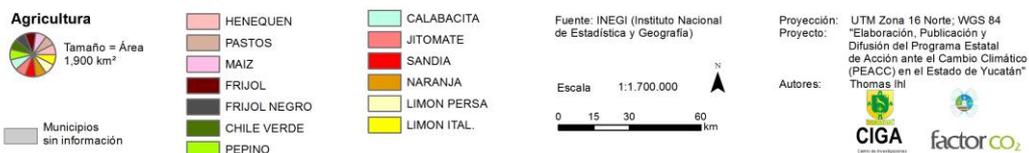
Los pastizales se cultivan principalmente al noreste, en la llamada "Zona ganadera".

El maíz se cultiva en la franja de mayor cantidad de lluvia (Figura 10). El principal municipio productor de este cereal es Tekax, localizado al sur, seguido de Tizimín, al noreste, y en tercer lugar Valladolid, al este (Figura 10).

Figura 10: Principales cultivos por municipio en el Estado de Yucatán.
Fuente: POETY, 2013.



Principales cultivos en el Estado de Yucatán



De los frutales, el limonero es cultivado al sur del Estado, y el municipio de Peto es el principal productor. Los municipios productores de naranja se localizan al sur, son Oxkutzcab, Ticul, Akil, Dzan y Tekax, en ese orden.

En cuanto al Henequén que en el pasado fue el principal cultivo del Estado de Yucatán en la mayoría de los municipios del oeste, centro y norte del estado ahora

solo se cultiva en 18 de los 105 municipios. Los principales productores son: al norte Ixamal, Motul y Tixkokob y al centro Tecoh (Figura 10)¹⁵.

3.3. Ganadería.

Con base en información oficial (POETY, 2007), es posible afirmar que la porcicultura se realiza principalmente al oeste del Estado de Yucatán, principalmente en Mérida, Opichén, Halachó, Abalá, Maxcanú y Umán, en ese orden de importancia (Figura 11). Yucatán es el tercer productor nacional de carne de cerdo. Únicamente en Telchac puerto no hay actividad porcícola. Esta actividad se localiza en la parte más caliente del estado (centro, oeste y sur), con temperaturas máximas promedio entre 36 y 38°C a la sombra y temperaturas máximas absolutas de 40 a 42°C. Esto aunado a que se encuentran en el interior de las granjas, por lo que uno de los principales problemas es el enfriamiento de los cerdos.

La localización de las principales granjas porcícolas en la situación climática más desfavorable (clima y acuífero cercano a la superficie) puede explicarse por la cercanía al principal mercado estatal (Ciudad de Mérida) y a las rutas de exportación para el mercado nacional y extranjero vía puertos marinos y aéreos. Esta situación genera problemas de contaminación de las aguas subterráneas (Aguilar et al., 2011)

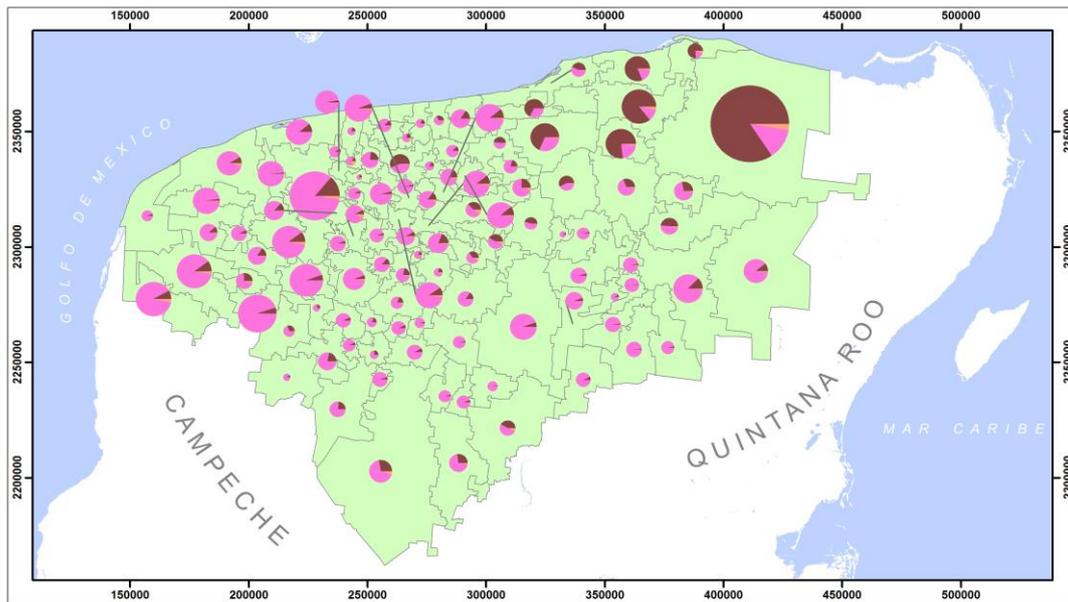
La ganadería de bovinos se localiza al noreste en la zona de pastizales cultivados, con temperaturas máximas promedio de 32 a 36°C. Los principales municipios son Tizimín, Panabá, Sucilá, San Felipe y Buctzotz, en ese orden.

En menor importancia, la crianza de ovinos se realiza en Tizimín, Mérida, Halacho, Panabá y Uman.

¹⁵ Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Yucatán.

Figura 11: La ganadería por municipio en el Estado de Yucatán.

Fuente: POETY, 2013.



Ganadería en el Estado de Yucatán

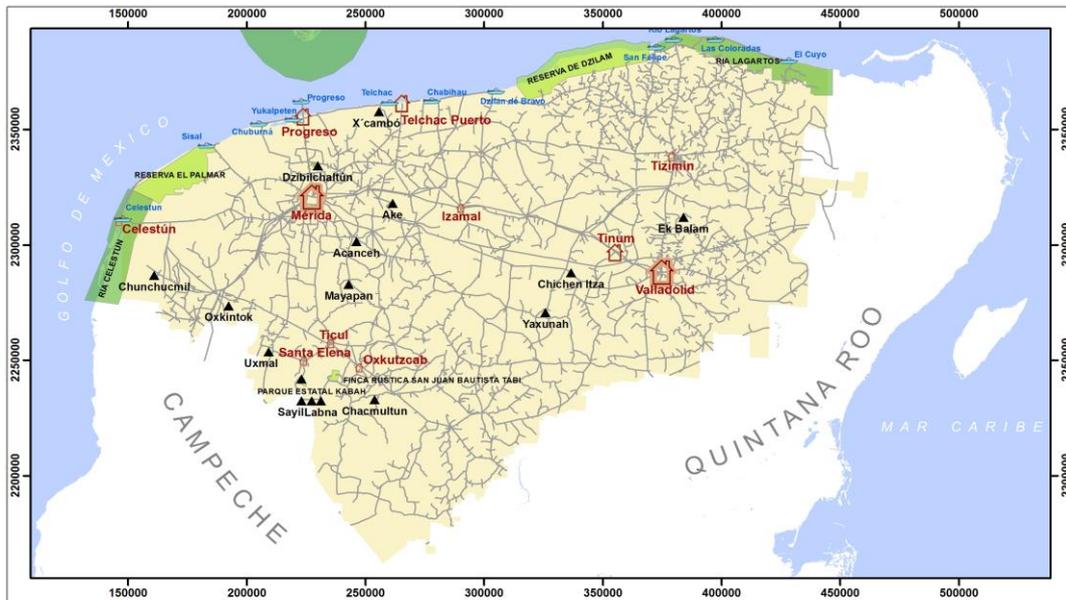


3.4. Atracción turística (zonas arqueológicas y áreas naturales protegidas).

El turismo es una de las actividades económicas más importantes del estado, sus atractivos turísticos son de diversos tipos, tales como arqueológicos ya sea por las pirámides mayas y sitios coloniales para el turismo cultural ubicados en Mérida, Izamal, Valladolid, etc.; atractivos naturales por las diversas áreas naturales protegidas entre las que destacan dos reservas de la biosfera (Celestún y Ría Lagartos); los cenotes y grutas para el turismo de aventura; y la zona costera para el turismo de playa (Figura 12).

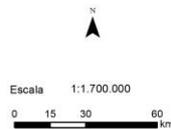
El Estado de Yucatán cuenta con la infraestructura de carreteras para llegar a todos los atractivos turísticos, como se puede comprobar en la siguiente figura.

Figura 12: Sitios de interés turístico en el Estado de Yucatán.
Fuente: POETY, 2013.



Atractivo turístico del Estado de Yucatán

- Localidad turística:**
(número de cuartos)
- 100 - 200
 - 201 - 700
 - > 700
- Puerto y/o playa
 - Zonas arqueológicas
 - Vialidades
 - Área natural protegida (estatal)
 - Área natural protegida (federal)



Proyección: UTM Zona 16 Norte; WGS 84
 Proyecto: "Elaboración, Publicación y Difusión del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) en el Estado de Yucatán"
 Autor: Yameli Aguilar, Francisco Bautista, Manuel Mendoza
 Cartografía: Thomas Ithi

4. Paisajes fisicogeográficos.

4.1. La conformación del mapa de paisajes fisicogeográficos.

La información del medio físico se utilizó para elaborar el mapa de integración de la información en el mapa de los paisajes fisicogeográficos (Figura 13, 14), el cual se elaboró considerando el mapa geomorfopedológico (geoformas y suelos) (Aguilar y Bautista, 2011), el mapa de la duración del periodo de lluvias (Delgado et al., 2011) y el mapa de la calidad agrícola del agua subterránea (Delgado et al., 2010).

En el mapa de los paisajes fisicogeográficos se incluyeron los cenotes ya que constituyen un rasgo geomorfológicamente importante y porque el agua es un recurso natural estratégico para el Estado de Yucatán.

El mapa de paisajes fisicogeográficos sirvió de base para la identificación de la aptitud para la agricultura de temporal (Figura 15) y de riego (Figura 16). Los criterios utilizados se presentan en las Tabla 2 y 3).

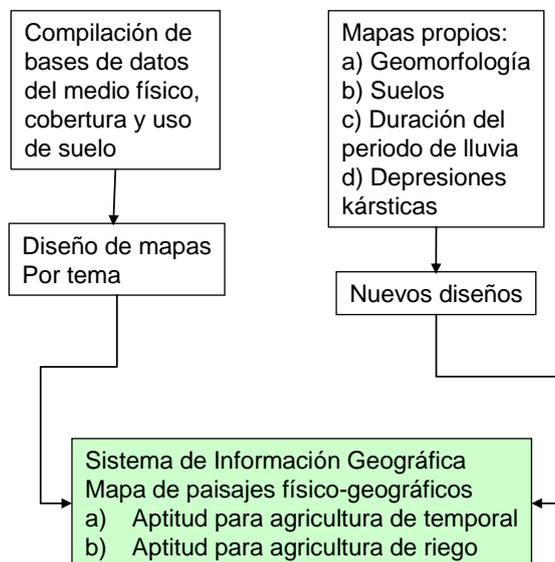
A este mapa se le adjunta la información de usos del suelo considerando la agricultura en sentido amplio¹⁶ (ganadería, cultivos anuales y perennes, y uso forestal), las áreas naturales protegidas estatales y federales, la geología, zonas turísticas y zonas urbanas.

¹⁶ La **agricultura** (del latín *agri* «campo» y *cultūra* «cultivo, crianza»), es el conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra y la parte del sector primario que se dedica a ello. En ella se engloban los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y los cultivos de vegetales. Comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras.

Las actividades relacionadas son las que integran el llamado sector agrícola. Todas las actividades económicas que abarca dicho sector tienen su fundamento en la explotación de los recursos que la tierra origina, favorecida por la acción del hombre: alimentos vegetales como cereales, frutas, hortalizas, pastos cultivados y forrajes; fibras utilizadas por la industria textil; cultivos energéticos y tubérculos; etc. (Wikipedia, 2013).

Figura 13: Actividades y productos en el análisis de los paisajes fisicogeográficos.

Fuente: Elaboración propia.



4.2. Planicies costeras.

En las planicies costeras (Tabla 4) los principales usos de suelo pueden separarse de acuerdo a la posición con respecto al mar. De cara al mar se encuentran áreas sin vegetación (Solonchack), asentamientos humanos, vegetación de duna costera (Arenosoles y Regosoles) y pequeñas áreas agrícolas (como cocotales). De cara a la laguna y tierra adentro se encuentra el manglar, la vegetación halófila y gipsofila así como la asociación popal-tular (Anexo II).

Los paisajes físico-geográficos costeros por ser los más cercanos al mar son los que se encuentran expuestos a las mareas y constituyen una zona de amortiguamiento para los paisajes fisicogeográficos tierra adentro, esta es una función que a menudo compite con el uso urbano, que al establecerse en estos paisajes disminuye su función amortiguadora.

Las planicies palustres tienen cubiertas vegetales un tanto extrañas, selvas altas, medianas y bajas subperennifolias asociadas con manglar, popales y tulares, así como sabanas, en ese orden de importancia.

Estos paisajes físico-geográficos son áreas naturales protegidas federales o estatales. Los manglares son de alta fragilidad a la degradación por las mareas.

Tabla 5: Planicies costeras.

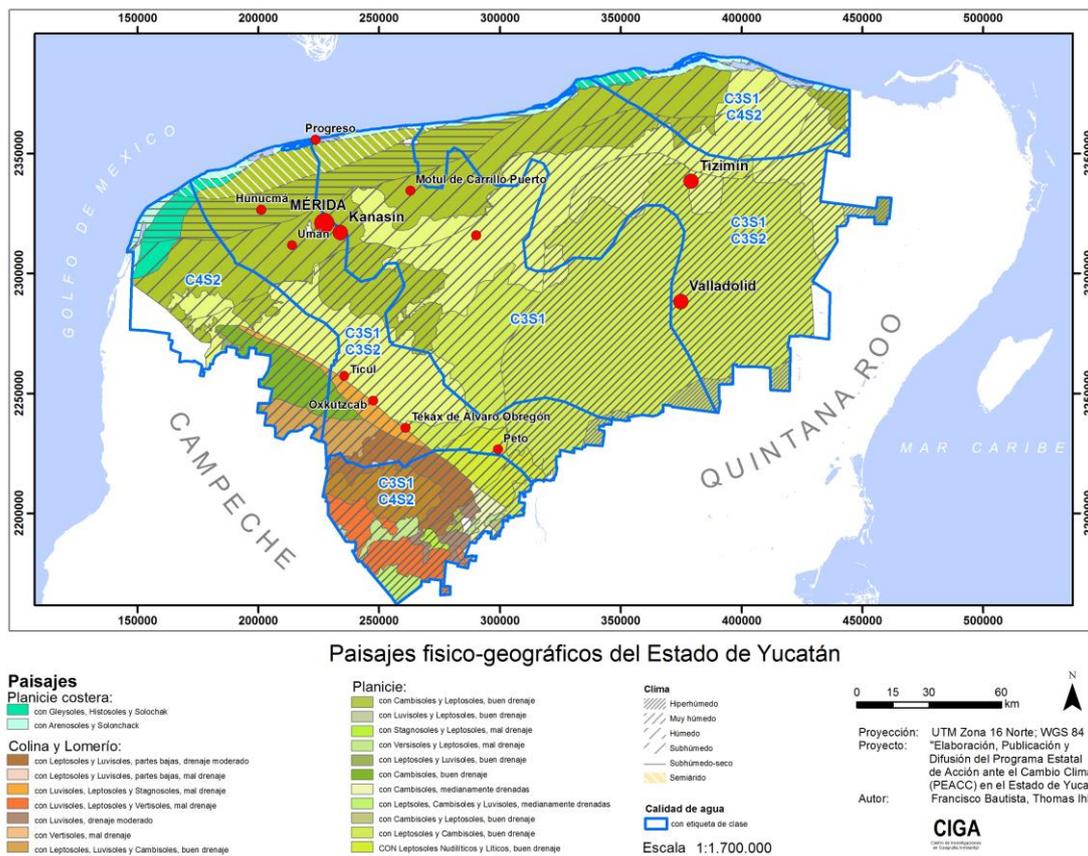
Fuente: CIGA.

ID	Geof	Clima	DPLL	Suelos	Zonas	Paisaje	ha
0	PC	Subhúmedo	4 - 5	A-AR/SC	II	Cordones litorales	2512
1	PC	Subhúmedo	4 - 5	A-AR/SC	II	Cordones litorales	1010
2	PC	Subhúmedo	3 - 4	A-AR/SC	II	Cordones litorales	9230
3	PC	Semiárido	1 - 2	A-AR/SC	V	Cordones litorales	2418
4	PC	Semiárido	2 - 3	A-AR/SC	II	Cordones litorales	971
5	PC	Semiárido	2 - 3	A-AR/SC/HS	V	Cordones litorales	5666
6	PC	Semiárido	1 - 2	A-AR/SC	V	Cordones litorales	2069
7	PC	Semiárido	1 - 2	A-AR/SC	VI	Cordones litorales	1399
8	PC	Semiárido	2 - 3	A-AR/SC/GL	VI	Cordones litorales	5106
9	PC	Subhúmedo	4 - 5	A-HS/SC/AR	IV	Cordones litorales	4033
10	PC	Subhúmedo	3 - 4	A-SC/AR/HS	IV	Cordones litorales	10240
11	PC	Semiárido	2 - 3	A-SC/GL/AR	VI	Cordones litorales	1106
12	PC	Semiárido	2 - 3	A-SC/GL/AR	IV	Cordones litorales	1848
13	PC	Semiárido	1 - 2	A-HS/GL/SC/LP	I	Cordones litorales	10249
14	PC	Húmedo	5 - 6	A-AR/SC	I	Cordones litorales	3069
15	PC	Húmedo	6 - 7	A-GL/HS/AR	I	Cordones litorales	2351
16	PC	Semiárido	1 - 2	A-AR/SC/GL	I	Cordones litorales	4018
17	PC	Subhúmedo	4 - 5	A-AR	I	Cordones litorales	1347
18	PP	Subhúmedo	4 - 5	AB-LP/HS/SC	II	Zonas inundables con GL e HS	16324
19	PP	Subhúmedo	3 - 4	AB-LP/GL/HS/SC	II	Zonas inundables con GL e HS	24203
20	PP	Semiárido	2 - 3	AB-GL/HS/LP	II	Zonas inundables con GL e HS	2619
21	PP	Semiárido	2 - 3	AB-GL/HS/SC/LP	V	Zonas inundables con GL e HS	7168
22	PP	Semiárido	1 - 2	AB-GL/HS/LP	I	Zonas inundables con GL e HS	9739
23	PP	Semiárido	1 - 2	AB-GL/HS/LP	IV	Zonas inundables con GL e HS	3108

4.3. Las planicies kársticas con Leptosoles.

En estas planicies en las que los suelos pertenecen al grupo Leptosol (suelos someros) y que en su mayoría son Nudilíticos (menores de 5 cm de profundidad) y Líticos (de 5 a 10 cm de profundidad) (Bautista et al., 2003) las condiciones para el establecimiento de cultivos se restringe a aquellos que no requieren un gran volumen para el establecimiento de sus raíces o que soportan la "sequía edáfica" o bien, que pueden ser como los árboles de la selva baja que tienen raíces pivotantes con las cuales pueden llegar al acuífero somero o al acuitardo húmedo (Tabla 5) (Bautista et al., 2005).

Figura 14: Mapa de los paisajes fisicogeográficos.¹⁷
C1) baja salinidad; C2) salinidad media; C3) salinidad alta; C4) salinidad muy alta; S1) bajo en SAR; S2) medio en SAR; S3) alto en SAR; S4) muy alto en SAR.
Fuente: CIGA.



En la parte de mayor cantidad de lluvia (noreste) se localiza una gran superficie de pastizales cultivados en los cuales se realiza ganadería de bovinos de tipo extensivo, estos pastizales han sustituido a la selva mediana caducifolia y subcaducifolia. Por el contrario, en la parte más seca (al oeste) se localizan las selvas bajas caducifolias, al centro la agricultura de temporal de tipo roza, tumba y quema y con selvas espinosas al norte.

En estos paisajes fisicogeográficos se encuentra el mayor asentamiento humano (Ciudad de Mérida) y la mayor cantidad de industrias y en general actividades

¹⁷ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1.700.000.

económicas. El acuífero es somero por lo que es de alta vulnerabilidad a la contaminación (Bautista et al., 2011ab).

Tabla 6: Planicies kársticas subhorizontales.

Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
24	Muy húmedo	7 - 8	B-LP/HS	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	7639
25	Húmedo	5 - 6	B-LP/GL	I	Planicies subhorizontales con Leptosoles	1627
26	Húmedo	6 - 7	B-LP/GL	I	Planicies subhorizontales con Leptosoles	14045
27	Húmedo	5 - 6	B-LP/CM	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	91077
28	Húmedo	5 - 6	B-LP	I	Planicies subhorizontales con Leptosoles	14531
29	Húmedo	5 - 6	B-LP	II	Planicies subhorizontales con Leptosoles	14971
30	Húmedo	5 - 6	B-LP	II	Planicies subhorizontales con Leptosoles	6006
31	Húmedo	5 - 6	B-LP	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	44561
32	Húmedo	5 - 6	B-LP	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	2367
33	Húmedo	5 - 6	B-LP	V	Planicies subhorizontales con Leptosoles	43832
34	Subhúmedo	4 - 5	B-LP	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	79696
35	Subhúmedo	4 - 5	B-LP/AT	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	22515
36	Subhúmedo	4 - 5	B-LP/CM	I	Planicies subhorizontales con Leptosoles	72389
37	Subhúmedo	4 - 5	B-LP/CM/LV	II	Planicies subhorizontales con Leptosoles	95632
38	Subhúmedo	4 - 5	B-LP	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	7973
39	Subhúmedo	4 - 5	B-LP/GL	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	91708
40	Subhúmedo	4 - 5	B-LP/AT	V	Planicies subhorizontales con Leptosoles	96540
41	Subhúmedo	3 - 4	B-LP	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	2840
42	Subhúmedo	3 - 4	B-LP	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	55903
43	Subhúmedo	3 - 4	B-LP/VR	II	Planicies subhorizontales con Leptosoles	14957
44	Subhúmedo	3 - 4	B-LP	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	43074
45	Subhúmedo	3 - 4	B-LP	V	Planicies subhorizontales con Leptosoles	71094
46	Semiárido	2 - 3	B-LP/SC/GL	VI	Planicies subhorizontales con Leptosoles	37244
47	Semiárido	2 - 3	B-LP	IV	Planicies subhorizontales con Leptosoles	719
48	Semiárido	2 - 3	B-LP/GL/SC	V	Planicies subhorizontales con Leptosoles	51768

4.4. Planicies kársticas (20 a 30 m) con Leptosoles y Cambisoles.

La planicie kárstica con una altura de 20 a 30 m ya no es una planicie subhorizontal como la planicie kárstica de 10 a 20 m, ahora es una planicie ligeramente ondulada con Cambisoles en la parte baja de las ondulaciones (Tabla 6); sin embargo, son los Leptosoles los suelos que predominan, ahora tienen calificadores Réndzicos, Mólicos e Hiperesqueléticos (Bautista et al., 2004).

En estos paisajes ficogeográficos la mayor cobertura se encuentra en la selva mediana y selva baja casi con la misma superficie, seguidas de la agricultura de temporal (Castillo-Caamal et al., 2010), asentamientos humanos y pastizales cultivados.

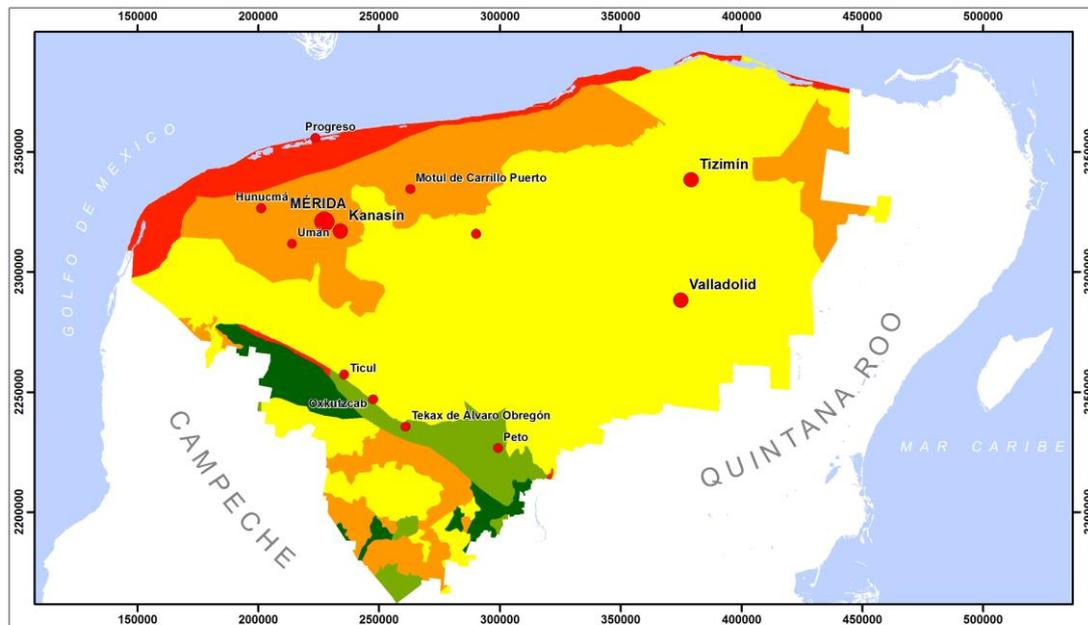
En los paisajes más lluviosos se localiza la selva mediana y los pastizales cultivados en los que se encuentran parte de los cuatro municipios más importantes en la producción de ganado bovino: Tizimín, Panabá, Sucilá y Buctutz. En este, una parte de los pastizales cultivados se localiza en la zona del agua subterránea de muy alta salinidad por lo que se recomienda darle seguimiento a la salinidad edáfica en zonas de riego.

Tabla 7: Planicies kársticas (20 a 30 m).

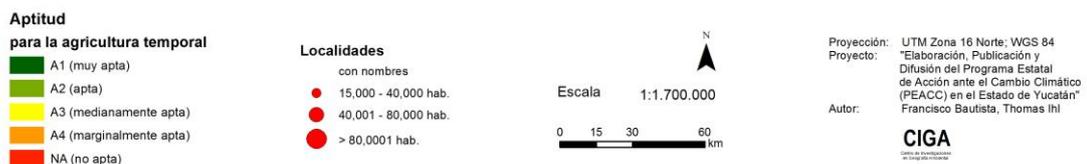
Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
49	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM	VI	Planicies poco onduladas con Leptosoles	30817
50	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM	II	Planicies poco onduladas con Leptosoles	73845
51	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM	V	Planicies poco onduladas con Leptosoles	158615
52	Subhúmedo	4 - 5	C-LP/CM	II	Planicies poco onduladas con Leptosoles	19446
53	Húmedo	6 - 7	C-LP/CM	I	Planicies poco onduladas con Leptosoles	1251
54	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM	VI	Planicies poco onduladas con Leptosoles	167213
55	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM/GL	I	Planicies poco onduladas con Leptosoles	101074
56	Húmedo	5 - 6	C-LP/CM	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	123893
57	Húmedo	5 - 6	C-LP	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	4151
58	Muy húmedo	7 - 8	C-LP	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	4730
59	Húmedo	6 - 7	C-LP/LV	VI	Planicies poco onduladas con Leptosoles	7284
60	Húmedo	6 - 7	C-LP	I	Planicies poco onduladas con Leptosoles	24971
61	Húmedo	6 - 7	C-LP	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	7479
62	Húmedo	6 - 7	C-LP/CM	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	21175
63	Húmedo	6 - 7	C-LP/CM	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	65342
64	Húmedo	6 - 7	C-LP/SC/GL	IV	Planicies poco onduladas con Leptosoles	70899
65	Subhúmedo	4 - 5	C-LP/CM	VI	Planicies poco onduladas con Leptosoles	58734
66	Subhúmedo	4 - 5	C-LP/CM	I	Planicies poco onduladas con Leptosoles	25632

Figura 15: Mapa de aptitud potencial para agricultura de temporal en los paisajes fisicogeográficos¹⁸.
Fuente: CIGA.



Aptitud potencial para agricultura de temporal en los paisajes fisicogeográficos



En la parte menos húmeda se localiza la selva baja y la agricultura de temporal de roza, tumba y quema (Bautista et al., 2005b), así como cuatro de los cinco municipios de mayor producción de henequén: Izamal, Tecóh, Tixkokob y Maxcanú.

4.5. Planicies kársticas con Leptosoles, Cambisoles y Luvisoles (30 a 40 y 40 a 50 m).

En la planicie de altitud de 30 a 40 m el desarrollo kárstico ya ha tenido un mayor avance, ahora las planicies son muy onduladas, aun cuando el Leptosol es el grupo de suelos dominante ya hay presencia de Luvisoles en la parte baja del relieve (Tabla 7).

¹⁸ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

En la planicie de 40 a 50 m de altura el grupo Cambisol es el dominante, la ondulación del relieve es menor y el grupo Leptosol deja de ser el dominante (Tabla 7).

Tabla 8: Planicies kársticas muy onduladas (30 a 40 y 40 a 50 m).

Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zonas	Paisajes	ha
67	Húmedo	6 – 7	D-VR/LP	III	Planicies muy onduladas con suelos bien drenados	8257
68	Húmedo	5 – 6	D-LP/CM	VI	Planicies muy onduladas con suelos bien drenados	137679
69	Húmedo	5 – 6	D-LP/CM/LV	I	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	743
70	Húmedo	5 – 6	D-LP/CM/LV	IV	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	5746
71	Húmedo	5 – 6	D-LP/LV	V	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	30691
72	Muy húmedo	7 – 8	D-LP/CM/LV	IV	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	8399
73	Muy húmedo	7 – 8	D-LP/CM/LV	VI	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	15709
74	Muy húmedo	7 – 8	D-LP/CM/LV	IV	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	7776
75	Muy húmedo	7 – 8	D-LP/CM/LV	VI	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	3501
76	Muy húmedo	7 – 8	D-LP/CM/LV	V	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	8398
77	Húmedo	6 – 7	D-LP/CM/LV	VI	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	431748
78	Húmedo	6 – 7	D-LP/CM/LV	IV	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	501597
79	Húmedo	6 – 7	D-LP/CM	V	Planicies muy onduladas con suelos de drenaje moderado	76875
80	Húmedo	5 – 6	E-CM/LP	III	Planicies onduladas con suelos bien drenados	26808
81	Húmedo	5 – 6	E-CM/LP	V	Planicies onduladas con suelos bien drenados	21804
82	Húmedo	6 – 7	E-CM/LP	III	Planicies onduladas con suelos bien drenados	16569
83	Húmedo	6 – 7	E-CM/LP	V	Planicies onduladas con suelos bien drenados	10465

En estos paisajes fisicogeográficos la duración del periodo de lluvia es mayor de cinco meses, por lo que existen buenas condiciones climáticas para la agricultura de temporal e incluso de riego ya que la salinidad del agua subterránea puede lavarse con el agua de lluvia tanto por los varios meses de lluvia como por el drenaje de los suelos que va de bueno (Leptosol y Cambisol) a medio (Luvisol); sin embargo se recomienda darle seguimiento a la calidad del suelo, principalmente en la zona I.

En estos paisajes fisicogeográficos la agricultura de temporal es la principal actividad debido al cultivo de maíz de grano, así como el cultivo de pastos bajo riego y la parte sin uso es de selva mediana.

4.6. Planicies intermontanas con Vertisoles, Stagnosoles, Cambisoles, Luvisoles y Leptosoles.

En estas planicies pseudopalustres intermontanas con climas húmedos con más de cinco meses de lluvia continua los suelos presentan drenaje deficiente (Vertisol) e incluso algunos de ellos no drenan (Gleysol y Stagnosol). La calidad agrícola del agua subterránea no es buena por los contenidos de sales, cloruros y sulfatos (Tabla 8).

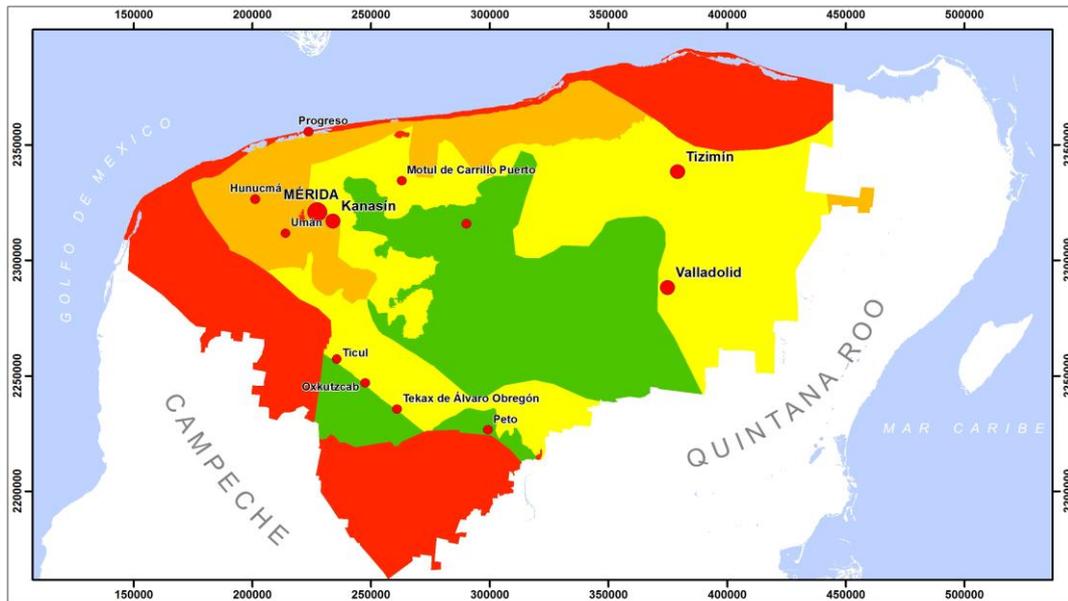
Las condiciones geomorfológicas, edáficas y climáticas son adecuadas para que estos paisajes sean utilizados en agricultura de temporal y como pastizales cultivados, así como la presencia de selvas subperennifolias. Estos paisajes son de alto riesgo de inundación ante lluvias extremas provocadas por los huracanes (Figura 17), como ya se ha constatado en el pasado con el huracán Isidoro en el 2002 (Ihl et al., 2007).

De acuerdo con el mapa de peligro de inundación ante lluvias extremas (Figura 16) los municipios que tienen localidades en peligro alto y muy alto son: Calotmul, Celestún, Cuzamá, Dzemul, Dzidzantún, Dzilam de Bravo, Espita, Hunucmá, Ixil, Panabá, Peto, Río Lagartos, San Felipe, Santa Elena, Sucilá, Tekax, Ticul, Tinúm, Tizimín, Tunkás, Tzucacab, Valladolid, Yaxcabá y Yobaín.

Tabla 9: Planicies intermontanas (palustres y kársticas).
Fuente: CIGA.

ID	Geoforma	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
84	PP	Húmedo	6 - 7	F2-VR/ST/LP	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	2163
85	PP	Húmedo	6 - 7	F3-VR/LP	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	2086
86	PP	Húmedo	6 - 7	F4-VR/GL/LP	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	4361
87	PP	Húmedo	6 - 7	F5-ST/GL/VR	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	5322
88	PP	Húmedo	5 - 6	F6-VR/GL	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	7414
89	PP	Húmedo	5 - 6	F7-VR/LP	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	7696
90	PK	Húmedo	5 - 6	F8-LV/LP	III	Planicie con suelos de drenaje deficiente	1453
91	PK	Húmedo	5 - 6	F1-LP	II	Planicie intermontana con buen drenaje	2723

**Figura 16: Mapa de aptitud potencial para agricultura de riego en los paisajes
fisicogeográficos¹⁹.**
Fuente: CIGA.



Aptitud potencial para agricultura de riego en los paisajes fisicogeográficos

Aptitud para la agricultura de riego

- A2 (apta)
- A3 (medianamente apta)
- A4 (marginalmente apta)
- NA (no apta)

Localidades con nombres

- 15,000 - 40,000 hab.
- 40,001 - 80,000 hab.
- > 80,001 hab.

Escala 1:1.700.000

Proyección: UTM Zona 16 Norte; WGS 84
 Proyecto: "Elaboración, Publicación y Difusión del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) en el Estado de Yucatán"
 Autor: Francisco Bautista, Thomas Ihl

CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

¹⁹ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250.000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1.700.000.

Figura 17: Mapa de vulnerabilidad de inundación ante lluvias extremas.²⁰
Fuente: CIGA.



4.7. Depresiones y elevaciones kársticas.

La depresión corresponde a una laguna formada por una gran fractura (Tabla 9). De las tres elevaciones kársticas aisladas dos se localizan al norte y una al sur, en las tres elevaciones aisladas dominan los Leptosoles líticos; sin embargo presentan diferencias en la cantidad de meses de lluvia y en la calidad agrícola del agua subterránea.

²⁰ La escala de trabajo de este mapa fue 1:250 000 pero para efectos de ilustración del texto se incluyó un mapa a escala 1:1 700 000.

Tabla 10: Depresiones y elevaciones kársticas.

Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
92	Húmedo	6 - 7	G-depresión	V	Cuerpo de agua	715
93	Húmedo	6 - 7	H-LP	III	Elevaciones con Leptosoles Líticos	1961
94	Subhúmedo	4 - 5	H-LP	V	Elevaciones con Leptosoles Líticos	802
95	Subhúmedo	3 - 4	H-LP	VI	Elevaciones con Leptosoles Líticos	1509

4.8. Colinas kársticas con Cambisoles, Luvisoles y Vertisoles.

Al igual que los paisajes ficogeográficos anteriores estos paisajes presentan suelos en los que el LP ocupa un segundo término; sin embargo, el relieve con colinas dificulta el uso de maquinaria agrícola, de la misma manera la calidad agrícola del agua subterránea no es buena. La cantidad de meses de lluvia mayor a cinco meses hace que estos paisajes ficogeográficos sean adecuados para agricultura de temporal (Tabla 10).

4.9. Lomeríos kársticos con Luvisoles, Vertisoles, Stagnosoles y Leptosoles.

Los lomeríos kársticos se han formado por la disolución de la caliza y es por esa razón que se encuentran aislados a diferencia de los que se encuentran alineados debido a las fracturas (Figura 15).

Tabla 11: Colinas kársticas.

Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
96	Húmeda	6 - 7	J1-CM/LP/VR	III	Colinas con suelos de drenaje intermedio	2854
97	Húmeda	5 - 6	J2a-CM/LP/LV	II	Colinas con suelos de drenaje intermedio	603
98	Húmeda	5 - 6	J2a-CM/LV/LP	II	Colinas con suelos de drenaje intermedio	66686
99	Húmeda	5 - 6	J2a-CM/LV/LP	V	Colinas con suelos de drenaje intermedio	12461
100	Húmeda	5 - 6	J2b-CM/VR/LP	III	Colinas con suelos de drenaje intermedio	1450
101	Húmeda	6 - 7	J2b-CM/VR/LP	III	Colinas con suelos de drenaje intermedio	13791
102	Húmeda	6 - 7	J3-CM/LP/LV	III	Colinas con suelos de drenaje intermedio	16866

Los lomeríos kársticos presentan, en las partes bajas del relieve suelos con drenaje moderado (Luvisol) y suelos con mal drenaje como los Vertisoles y Stagnosoles. En los tres casos con alto riesgo de inundación ante lluvias extremas (Figura 16, Tabla 11).

En el periodo de lluvia la precipitación continua es mayor a los cinco meses situación que favorece la agricultura de temporal, desafortunadamente la calidad agrícola del agua subterránea es de mala calidad, con excepción del paisaje ID= 105 (Tabla 11), lo cual impide o dificulta la agricultura de riego.

Tabla 12: Lomeríos kársticos.
Fuente: CIGA.

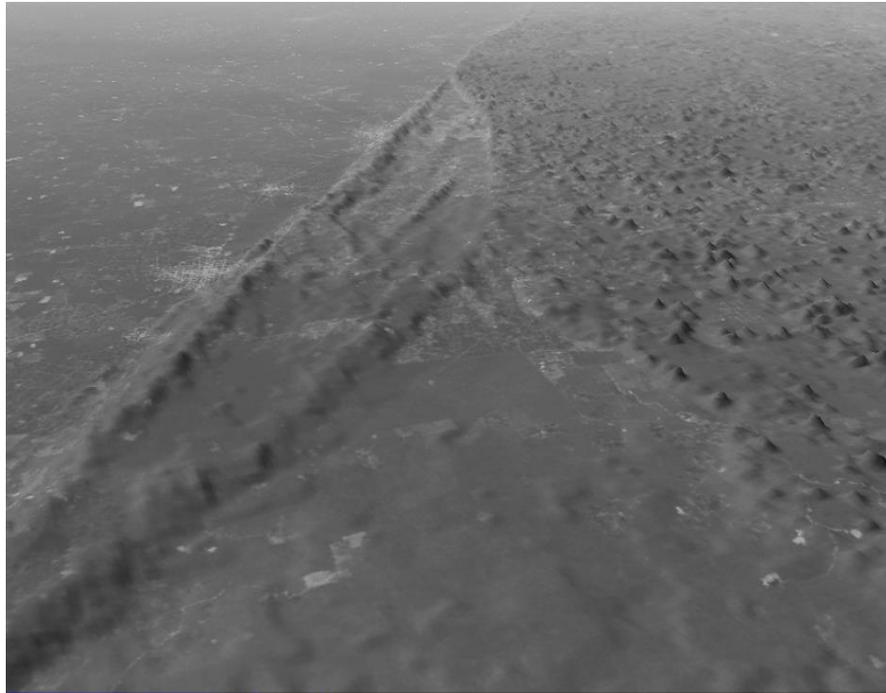
ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
103	Húmedo	5 - 6	K1-LP/LV	II	Lomerío con suelos de drenaje moderado en la parte baja	26533
104	Húmedo	5 - 6	K1-LP/LV/CM	V	Lomerío con suelos de drenaje moderado en la parte baja	28991
105	Húmedo	6 - 7	K1-LP/LV/CM	III	Lomerío con suelos de drenaje moderado en la parte baja	10039
106	Húmedo	6 - 7	K1-LP/LV/CM	III	Lomerío con suelos de drenaje moderado en la parte baja	4628
107	Húmedo	6 - 7	K2-LP/LV/VR	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	4167
108	Húmedo	6 - 7	K3-LP/LV/ST	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	42393
109	Húmedo	5 - 6	K3-LP/LV/ST	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	3228
110	Húmedo	5 - 6	K3-LP/LV/ST	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	27499
111	Húmedo	6 - 7	K4-LP/VR	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	3199
112	Húmedo	6 - 7	K4-LP/VR	III	Lomerío con suelos de drenaje deficiente en la parte baja	1044

4.10. Lomeríos técto-kársticos con Luvisoles, Leptosoles y Leptosoles.

Se identifican tres fracturas que dan origen a los lomeríos alineados, estos lomeríos se dividieron considerando el clima y la calidad del agua subterránea, dando como resultado nueve paisajes fisicogeográficos (Tabla 12). En ellos, las actividades humanas se restringen a las zonas planas; sin embargo, en algunos casos, las partes bajas del relieve presentan Gleysoles, suelos que se caracterizan por tener mal drenaje y que dan lugar a la aparición de la selva baja subperennifolia, así como Stagnosoles con mal drenaje (Figura 18).

Figura 18: Imagen de satélite sobre un modelo digital de elevación para observar los lomeríos alineados, lomeríos aislados al este y noreste, colina al sur y planicies kársticas al noroeste.

Fuente: CIGA.



En estos paisajes fisicogeográficos el agua subterránea es de mediana a mala calidad agrícola. En las partes bajas se realiza agricultura de temporal y en las partes altas se encuentran las selvas baja y mediana caducifolias.

Figura 19: Perfil de un Stagnosol al sur del Estado.

Fuente: CIGA.



Tabla 13: Lomeríos alineados tecto-kársticos.

Fuente: CIGA.

ID	Clima	DPLL	Suelos	Zona	Paisaje	ha
113	Húmeda	5 - 6	L1-LP	II	Lomerío con suelos de buen drenaje	6876
					Lomerío con drenaje moderado en la	2752
114	Húmeda	5 - 6	L1-LP/LV/CM	V	parte bajas	6
115	Húmeda	5 - 6	L2-LP/LV/GL	III	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	458
116	Húmeda	5 - 6	L2-LP/LV/GL	III	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	888
						1073
117	Húmeda	5 - 6	L2-LP/LV/GL	III	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	8
						3890
118	Húmeda	5 - 6	L2-LP/LV/GL	III	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	3
						2905
119	Húmeda	5 - 6	L2-LP/LV/GL	V	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	9
					Lomerío con drenaje moderado en la	
120	Húmeda	6 - 7	L2-LP/LV	III	parte baja	4289
			L3-			7445
121	Húmeda	5 - 6	LP/CM/VR/GL	III	Lomerío sin drenaje en las partes bajas	7

5. A manera de conclusión

Para un mejor entendimiento de la importancia del análisis del medio físico y de las actividades económicas realizadas en la entidad, es necesario tener presente que en la evaluación del riesgo intervienen tanto los conceptos de exposición, como de vulnerabilidad a los cambios climáticos. Este documento en particular es la base para la evaluación de los cambios en el comportamiento de las variables climáticas, así como del análisis de la vulnerabilidad a los mismos del territorio y de los diferentes sectores yucatecos, analizada de forma más específica en otros trabajos llevados a cabo en el contexto del PEACC desde los puntos de vista ambiental y socioeconómico²¹.

El conocimiento del medio físico tema por tema y con una visión espacial integrada mediante el mapa de paisajes es fundamental para reconocer las áreas de mayor vulnerabilidad ambiental ante los diversos efectos del clima actual y de los efectos del cambio climático.

Del análisis del medio físico se producen las siguientes conclusiones:

- Existe un patrón de lluvias del este hacia el noroeste que provoca un patrón de vegetación de mayor a menor cubierta vegetal en la misma dirección. Este patrón de humedad tiene un gran impacto en la agricultura yucateca, puesto que condiciona la duración del temporal y las necesidades de riego. De este modo, las localizaciones costeras del noroeste de la entidad, tienen una aptitud muy baja para la agricultura.
- El patrón de lluvias del este hacia el noroeste es el mismo que el de los huracanes, siendo mayor la probabilidad de que la intensidad y trayectoria sea muy alta al noreste, alta al este y media al sur. Este se traduce en que los impactos físicos de los huracanes suelen ser mayores en el noroeste de la entidad, y menores en el sur.

²¹ Ver documento "Análisis de la vulnerabilidad actual y futura ante los efectos del cambio climático", 2013.

- La fragilidad de la línea de costa ante las mareas va de muy alta, alta y media, la vulnerabilidad a la erosión de la playa es alta, media y baja. De este modo, la línea de costa está sufriendo los impactos de la erosión, que se llegan a percibir en asentamientos humanos costeros, y de las mareas de tormenta, que provocan inundaciones en la franja costera.
- El relieve de la entidad está conformado por planicies kársticas, planicies costeras, planicies intermontanas, lomeríos kársticos y lomeríos tecto-kársticos. Las planicies intermontanas son altamente vulnerables a inundaciones ya que, aparte de ser un sitio de recepción y acumulación de la precipitación, tienen suelos con drenaje limitado (Stagnosoles) e impedido (Gleysoles). En este sentido, el llamado Cono Sur de la entidad sufre inundaciones con relativa frecuencia (municipios de Tekax, Motul, Oxcutzcab, Peto y Tzucacab, entre otros). Las inundaciones también se pueden presentar en la misma Ciudad de Mérida, aunque en este caso están muy relacionadas con la saturación de la capacidad de evacuación del sistema de drenaje.
- Las zonas con alta densidad de depresiones kársticas (dolinas, uvalas y poljes) son de alta vulnerabilidad a los colapsos. Ante lluvias excesivas es muy probable que la cantidad de colapsos (hundimientos del suelo) se incremente.
- Además de los suelos de drenaje impedido, como los Gleysoles, hay dos grupos de suelo de drenaje limitado, como los Stagnosoles, y en menor grado los Luvisoles. Estos últimos también podrían propiciar inundaciones ante precipitaciones extremas. Por el contrario, los Leptosoles son omnipresentes en la entidad, son suelos someros de alto drenaje que ante precipitaciones extremas podrían sufrir un exceso de lavado y erosión de tipo "vertical", este mismo efecto podría presentarse en los Cambisoles pero con menor intensidad. Esto se traduce en que, fuera del Cono Sur y de la franja costera de la entidad, las inundaciones son muy improbables, no estando su población expuesta a este impacto potencial.
- En el centro de la entidad se localiza la mejor calidad del agua subterránea. Se tienen bien entendidos los flujos regionales del agua subterránea; sin embargo, los flujos locales no se han estudiado a profundidad, lo cual es necesario para generar propuestas de conservación de este vital recurso natural. Un aumento de los días secos y una disminución de los flujos subterráneos tierra-costa podría ocasionar un incremento en la intrusión salina, con una consecuente

disminución de la calidad y cantidad de agua, salinización de los suelos y un cambio de cubierta vegetal. Así, un potencial descenso del volumen de precipitación provocaría una mayor salinización y una reducción de la calidad del agua subterránea, lo cual contribuiría a favorecer un cambio en la cubierta vegetal.

- Como resultado de este trabajo, se dispone de una información del medio físico-geográfico que permite elaborar mapas temáticos de vulnerabilidad, como por ejemplo el mapa de vulnerabilidad a la inundación (Figura 17), de gran utilidad en la planificación territorial y en la acción frente al cambio climático.

Conforme se muestra, en función de su localización dentro de la entidad, las actividades económicas, la agricultura, la ganadería, las zonas arqueológicas, las áreas naturales protegidas, la industria y la cobertura vegetal están más o menos expuestas a los riesgos geofísicos e hidrometeorológicos descritos en este trabajo, pudiendo ser el cambio climático un factor agravante de los mismos.

6. Principales referencias bibliográficas

Las principales referencias bibliográficas utilizadas durante el desarrollo del presente documento han sido las siguientes:

- Aguilar Duarte, Yameli Guadalupe. *Modelo conceptual y cartográfico de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en karst tropical con un enfoque geopedológico y uso de árboles de decisión*. Doctorado en Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. En proceso. 2013.
- Aguilar, Y. y Bautista, F. *Extrapolating the suitability of soils as natural reactors using an existing soil map: application of pedotransfer functions, spatial integration and validation procedures*, en *Tropical and subtropical agroecosystems*, 13: 221- 232. 2011.
- Aguilar, Y., Bautista, F., Díaz-Pereira, E. *Soils as natural reactors for swine wastewater treatment*, en *Tropical and subtropical agroecosystems*, 13: 199-210. 2011.
- Batllori, E., González-Piedra, J.I., Díaz-Sosa, J., Febles-Patrón, J.L. *Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del Estado de Yucatán, México*, en *Investigaciones Geográficas*, 59: 74-92. 2006.
- Bautista, F., Palacio, G. (UNAM). *Capítulo 24. Península de Yucatán*, en: *Geografía de suelos de México*. 2012.
- Bautista F., D. Maldonado y A.J. Zinck. *La clasificación maya de suelos*. Ciencia y desarrollo, julio-agosto: 64-70. 2012.
- Bautista, F., Palacio, G., Quintana, P., Zinck, A.J. *Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatán, Mexico*, en *Geomorphology*. 135: 308–321. 2011a.
- Bautista, F., Balancán, A.M., Navarro, J., Bocco, G. *La percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México. Una visión desde la geografía*, en *Teoría y praxis*. 9:33-54. 2011b.

- Bautista, F., Aguilar, Y., Batllori, E. *Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán*, en: *Teoría y praxis*. 9: 9-31. 2011c.
- Bautista, F., Zinck, A.J. *Construction of an Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework*, en: *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2010, 6:7. 2010.
- Bautista, F., Aguilar, Y., Rivas, H., Páez, R. *Los suelos del Estado de Yucatán*. En: *Importancia del binomio suelo-materia orgánica en el desarrollo sostenible*, en Martínez, M., Cabañas, D. (Agencia Española de Cooperación Internacional, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, España), pp. 11-42. 2007.
- Bautista, F., Díaz-Garrido, M.S., Castillo-González, J.L.M., Zinck, A.J. *Spatial heterogeneity of the soil cover in the Yucatán Karst: comparison of Mayan, WRB and numerical classification*, en *Euroasian Soils Science*. 38(S1): 80-87. 2005 a
- Bautista, F., García, J., Mizrahi, A. *Diagnóstico campesino de la situación agrícola en Hocabá, Yucatán*, en *Terra Latinoamericana*. 23(4): 571-580. 2005b.
- Bautista-Zúñiga, F., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., González-Iturbe, J. *Relación entre relieve y unidades de suelo en zonas cársticas*, en *Terra Latinoamericana*. 22(3): 243-254. 2004.
- Bautista-Zúñiga, F., Jiménez-Osornio, J., Navarro-Alberto, J., Manu, A. y Lozano, R. *Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos*, en *Terra*. 21: 1-11. 2003a.
- Bautista-Zúñiga, F., Batllori-Sampedro, E. Ortiz-Pérez, M. A., Palacio-Aponte, G., Castillo-González, M. *Geoformas, agua y suelo en la Península de Yucatán*, en *Naturaleza y sociedad en el área maya*. Pp. 21-35. 2003b.
- Cabañas, D., Reza, G., Sauri, M. R., Méndez, R.I., Bautista, F. y Manrique, W. *Inventario de fuentes potenciales de residuos peligrosos en el interior del Estado de Yucatán*, en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26 (4) 269-277. 2010.
- Castillo-Caamal, J.B., Caamal-Maldonado, J.A., Jiménez-Osornio, J.J.M., Bautista, F., Amaya-Castro, M.J., Rodríguez-Carrillo, R. *Evaluación de tres*

leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo, en Agronomía mesoamericana 21(1):39-50. 2010.

- Delgado, C.C., Pacheco, A.J., Cabrera, S.A., Batllori, S.E., Orellana, R., Bautista F. *Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: the case of Yucatán, México, en Agricultural water management. 97, 1423-1433. 2010.*
- Delgado, C. C., Bautista, F., Orellana-Lanza, R., Reyes-Hernández, H. *Classification and agroclimatic zoning using the relationship between precipitation and evapotranspiration in the state of Yucatan, Mexico, en Investigaciones geográficas. 75: 51-60. 2011.*
- Duran R. y G. García, *Diversidad espacial de la vegetación. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Yucatán, México. 131-135 pp. En: Durán R. y M. Méndez (Eds.). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp. 2010.*
- Escolero, O.A., Marín, L.E., Steinich, B., Pacheco, J. *Delimitation of a hydrogeological reserve for a city within a karstic aquifer: the Merida, Yucatan example. Landscape Urban Plan. 51, 53–62. 2000.*
- Escolero, O., Marín, L.E., Steinich, B., Pacheco, J., Cabrera, A., Alcocer, J., *Development of a protection strategy of karst limestone aquifers: the Mérida Yucatan, Mexico case study. Water. Resour. Manage. 16, 351–367. 2002.*
- González-Herrera, R., Sánchez-y-Pinto, I., Gamboa-Vargas, J., *Groundwaterflow modeling in the Yucatan karstic aquifer. Mexico Hydrogeol. J. 10, 539– 552. 2002.*
- Graniel, C.E., *Determinación de los coeficientes de dispersividad longitudinal y transversal en un medio cárstico y su relación con la conductividad hidráulica. Ph.D. tesis, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, México. 2001.*
- Graniel, C.E., Morris, L.B., Carrillo-Rivera, J.J., *Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico. Environ. Geol. 37 (4), 303–312. 1999.*
- Ihl, T., Frausto, O., Rojas, J., Giese, S., Goldacker, S., Bautista, F. and Bocco, G. *Identification of geodisasters in the state of Yucatan, Mexico, en Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. 246 (3). 299-311. 2007.*
- INEGI. *Población del Estado de Yucatán del censo 2010.* <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/poblacion/default.aspx?tema=me&e=31>. Consulta 19 de abril del 2013.

- INEGI. *La vegetación en México*.
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/vegfauna/veg-et1.cfm>, consultado en abril 19 de 2013.
- Konrad, H. W. *Caribbean Tropical Storms –Ecological Implications for Pre-Hispanic and Contemporary Maya Subsistence on the Yucatan Peninsula*. – In: *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán. Impacto del Huracán Isidoro en Yucatán. Huracán, ecología y sistemas productivos*. Volumen 18. Número 224. Edición especial 2. pp. 99-126. 2003.
- Marín, L., Perry, E., Pope, E.C., Duller, K.O., Booth, C.E., Villasuso, C.J., Hurricane *Gilbert: its effects on the aquifer in northern Yucatan, Mexico*. In: Simpson, E.S., Sharp, J.M. (Eds.), *Selected Papers on Hydrogeology*. 28th International Geologic Congress. 9–19 July 1990, at Washington DC, Hanover, Verlag Heinz Heise. International Association of Hydrogeologists 1, pp. 111–128. 1990.
- Marín, L.E., Perry, E.C., *The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatán, México*. *Geofísica Internacional* 33 (4), 619–623. 1994.
- Marín, L.E., Steinich, B., Pacheco, J., Escolero, O.A., *Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Merida, Yucatan, Mexico*. *Geofísica Internacional* 39 (4), 359–365. 2000.
- Marín, L.E., Pacheco, J.G., Méndez, R., *Hidrogeología de la Península de Yucatán*. In: Jiménez, B., Marín, L. (Eds.), *El agua en México vista desde la academia*. Academia Mexicana de Ciencias, Mexico, pp. 159–176. 2004.
- Pacheco, J., Cabrera, A. *Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el Estado de Yucatán*. *Ing. Hidrául. Méx.* XI (I), 53–60. 1996.
- Pacheco, J., Cabrera, A. *Ground water contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico*. *Hydrogeol. J* 2, 47–53. 1997.
- Pacheco, J., Cabrera, A., Marín, L. *Bacteriological contamination in the karstic aquifer of Yucatán, México*. *Geofísica Internacional* 39 (3), 285–291. 2000.
- Pacheco, J., Marín, L., Cabrera, A., Steinich, B., Escolero, O.A. *Nitrate temporal and spatial pattern in twelve water supply wells, Yucatan, Mexico*. *Environ. Geol.* 40 (6), 708–715. 2001.

- Pacheco, J., Calderón, L., Cabrera, A. *Delineación de la zona de protección hidrogeológica para el campo de pozos de la planta Mérida I, en la ciudad de Mérida, Yucatán*. México. Ingeniería 8 (1), 7–16. 2004.
- Olmsted, I., J. A. González-Iturbe, J. Granados, R. Durán, y F. Tun. *Vegetación*. In: *Atlas de Procesos Territoriales en Yucatán*. García de Fuentes A., J. Córdoba y Ordóñez, y P. A. Chico Ponce de León (eds). Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 1999. pp: 183-194. . 1999.
- Palacios, V. O. y N. E. Aceves. *Instructivos para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 1970
- Perry, E., Velázquez-Olimán, G., Marín, L., *The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula*. México. Int. Geol. Rev. 44, 121–221. 2002.
- Richards, L. A. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook, USDA 60. Washington D. C., USA. 1954.
- Steinich, B., Marin, L.E., *Determination of flow characteristics in the aquifer of the Northwestern Peninsula of Yucatan, Mexico*. J. Hydrol. 191, 315–331. 1997.

Además de a la bibliografía anterior, también se consultaron las siguientes fuentes de organismos públicos:

- POETY (Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Yucatán). 2007. Consulta en enero de 2013. <http://www.bitacoraordenamiento.yucatan.gob.mx/galeria/index.php?Offset=175&IdOrdenamiento=2#>.
- UNIATMOS (Atlas climático digital de México, UNAM). <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>

Anexo I. Superficies de cobertura y uso de suelo por paisaje físico-geográfico.

Tabla 14: Superficies de cobertura y uso de suelo por paisaje fisicogeográfico.

Fuente: CIGA.

ID	Suelo_Comb	Agri_riego	Agri_tempo	Sin_vegetación	Asenta_miento	Manglar	Past_culli	Past_induc	Popal_Tula	Riego_susp	Sabana	Selva_Am p	Selva_ams	Selva_b_ca	Selva_b_es	Selva_b_su	Selva_m_ca	Dunas_cost	Veg_halogi
0	AR/SC	0	0	6833	0	370475	0	0	15633	0	0	0	153811	0	0	0	0	0	2672
1	AR/SC																		
2	AR/SC	0	0	21880	0	370712	0	0	8069	0	0	0	153811	0	0	0	0	2406	0
3	AR/SC																		
4	AR/SC	0	0	0	0	368510	0	0	2203	0	0	0	11290	0	0	0	0	0	0
5	AR/SC/HS																		
6	AR/SC	0	0	2134	2985	368510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6264	2658
7	AR/SC																		
8	AR/SC/GL	0	2625	18505	10987	46117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11547	11143
9	HS/SC/AR																		
10	SC/AR/HS	0	1652	30180	1091	243975	6349307	0	1474	0	0	0	0	0	106404	0	89840	5610	0
11	SC/GL/AR																		
12	SC/GL/AR	0	1299	31619	819	243975	15735	0	0	0	0	0	0	0	89599	0	0	1819	0
13	HS/GL/SC/LP																		
14	AR/SC	0	7063	7590	258	15701	0	0	0	0	0	0	0	65379	0	0	0	28453	0
15	GL/HS/AR																		
16	AR/SC/GL	0	0	0	0	31063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29559	4627
17	AR																		
18	LP/HS/SC	0	0	0	0	55394	6869	0	32337	0	38010	0	184766	0	0	70531	0	0	2672
19	LP/GL/HS/SC																		
20	GL/HS/LP	0	0	0	0	368510	0	0	16379	0	0	0	14736	0	0	0	0	0	0
21	GL/HS/SC/LP																		
22	GL/HS/LP	0	0	0	0	243975	6266931	0	48148	0	0	0	7616	70109	0	0	0	0	0
23	GL/HS/LP																		
24	LP/HS	0	16115	0	0	0	76899	0	15950	0	0	0	16049265	0	0	0	0	0	0
25	LP/GL																		
26	LP/GL	0	0	0	0	14238	6279058	0	91461	0	0	0	16037197	39244	0	0	297084	0	0

ID	Suelo_ Comb	Agri_ riego	Agri_ tempo	Sin_ vegetación	Asenta miento	Manglar	Past_ culti	Past_ induc	Popal_ Tula	Riego_ susp	Sabana	Selva Am p	Selva_ am_s	Selva _b_ca	Selva _b_es	Selva _b_su	Selva _m_ca	Dunas cost	Veg halogi
27	LP/CM																		
28	LP	0	0	0	749	0	6266931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4291	0	0
29	LP																		
30	LP	0	7413	0	0	0	3981	2168	0	0	0	0	0	3307557	0	0	0	0	0
31	LP																		
32	LP	0	0	0	0	0	6266931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5053	0	0
33	LP																		
34	LP	0	673976	0	20971	0	6645761	0	0	0	0	0	0	1194093	28772	0	42995	0	0
35	LP/AT																		
36	LP/CM	0	0	0	749	265793	6266931	0	37356	0	0	0	0	102434	25284	0	1802	0	1135
37	LP/CM/LV																		
38	LP	1194	261342	0	0	0	16596	0	0	0	0	0	0	247613	13075	0	0	0	0
39	LP/GL																		
40	LP/AT	9181	758088	0	175857	0	85300	0	0	0	0	0	0	4235292	0	0	0	0	0
41	LP																		
42	LP	6427	765330	1088	170814	0	122458	3701	0	0	0	0	0	99496	524672	0	0	0	0
43	LP/VR																		
44	LP	1194	309361	0	5679	243975	6396397	1912	0	0	0	0	0	290602	133228	0	75632	0	0
45	LP																		
46	LP/SC/GL	0	153344	18469	0	422351	70266	0	3383	0	0	0	0	0	424729	0	0	0	49353
47	LP																		
48	LP/GL/SC	3627	278335	10837	0	371015	30599	0	31230	0	0	0	4095	3920041	181767	0	0	0	29702
49	LP/CM																		
50	LP/CM	3865	483623	0	20453	0	89525	7109	0	0	0	0	0	3356357	0	0	79915	0	0
51	LP/CM																		
52	LP/CM	0	43565	0	0	0	11216	74329	0	0	0	0	0	3439161	0	0	0	0	0
53	LP/CM																		
54	LP/CM	1897	686842	0	19157	0	6758081	0	0	0	0	0	0	1283458	0	0	3910949	0	0
55	LP/CM/GL																		
56	LP/CM	0	51744	0	5575	0	6343911	0	0	0	0	0	0	298250	0	0	4000883	0	0
57	LP																		

ID	Suelo_Comb	Agri_riego	Agri_tempo	Sin_vegetación	Asenta_miento	Manglar	Past_culti	Past_induc	Popal_Tula	Riego_susp	Sabana	Selva_Am p	Selva_am_s	Selva_b_ca	Selva_b_es	Selva_b_su	Selva_m_ca	Dunas_cost	Veg_halogi
58	LP	0	80842	0	0	0	4835	0	0	0	0	0	16294731	0	0	0	229051	0	0
59	LP/LV																		
60	LP	0	0	0	0	0	6285983	0	8368	0	0	0	16026714	0	0	0	297084	0	0
61	LP																		
62	LP/CM	0	25430	0	11738	0	6313598	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2884943	0	0
63	LP/CM																		
64	LP/SC/GL	0	35465	0	1710	0	6314708	0	3442	0	0	0	16305710	0	0	0	3240183	0	0
65	LP/CM																		
66	LP/CM	0	0	18116	0	11088	6266931	0	2725	0	0	0	0	29529	0	0	0	0	0
67	VR/LP																		
68	LP/CM	0	3315246	0	5660	0	248004	0	0	0	0	0	0	295542	0	0	1650223	0	0
69	LP/CM/LV																		
70	LP/CM/LV	0	0	0	0	0	6289428	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2875202	0	0
71	LP/LV																		
72	LP/CM/LV	0	0	0	0	0	79496	0	0	0	0	0	16045449	0	0	0	0	0	0
73	LP/CM/LV																		
74	LP/CM/LV	0	297534	0	1273	0	0	0	0	0	0	0	16028405	0	0	0	271204	0	0
75	LP/CM/LV																		
76	LP/CM/LV	0	1488821	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191566	0	0
77	LP/CM/LV																		
78	LP/CM/LV	0	1803358	0	46086	0	6697890	0	0	0	0	0	16422135	0	0	0	4101831	0	0
79	LP/CM																		
80	CM/LP	0	505733	0	3888	0	252388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1236518	0	0
81	CM/LP																		
82	CM/LP	0	509410	0	1333	0	198837	0	0	0	0	0	0	0	0	5991	319663	0	0
83	CM/LP																		
84	VR/ST/LP	0	2824	0	0	0	190640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28452	0	0
85	VR/LP																		
86	VR/GL/LP	0	0	0	0	0	16930	0	0	0	0	0	0	0	0	27930	2489410	0	0
87	ST/GL/VR																		
88	VR/GL	6553	42471	0	0	0	2692	0	0	0	0	0	0	0	0	23223	2811098	0	0

ID	Suelo_Comb	Agri_riego	Agri_tempo	Sin_vegetación	Asenta_miento	Manglar	Past_culti	Past_induc	Popal_Tula	Riego_susp	Sabana	Selva_Amp	Selva_am_s	Selva_b_ca	Selva_b_es	Selva_b_su	Selva_m_ca	Dunas_cost	Veg_halogi
89	VR/LP																		
90	LV/LP	0	26121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	391360	0	0
91	LP																		
92		0	20654	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183180	0	0
93	LP																		
94	LP	511	206096	0	162142	0	0	0	0	0	0	0	0	535762	0	0	0	0	0
95	LP																		
96	CM/LP/VR	0	9183	0	0	0	190640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189563	0	0
97	CM/LP/LV																		
98	CM/LV/LP	51433	172979	0	5144	0	79996	2168	0	0	0	0	0	3319036	0	0	973146	0	0
99	CM/LV/LP																		
100	CM/VR/LP	0	0	0	0	0	237331	0	0	0	0	0	0	0	0	5508	2611025	0	0
101	CM/VR/LP																		
102	CM/LP/LV	0	10170	0	0	0	0	8653	0	0	0	0	0	0	0	0	2787498	0	0
103	LP/LV																		
104	LP/LV/CM	34296	979781	0	0	0	22596	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1916173	0	0
105	LP/LV/CM																		
106	LP/LV/CM	44211	31824	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29398	2798356	0	0
107	LP/LV/VR																		
108	LP/LV/ST	44211	62254	0	0	0	2936	11148	0	0	0	0	0	0	0	0	2819979	0	0
109	LP/LV/ST																		
110	LP/LV/ST	0	80732	0	0	0	3090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3883713	0	0
111	LP/VR																		
112	LP/VR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2487971	0	0
113	LP																		
114	LP/LV/CM	144339	910593	0	10031	0	78860	0	0	0	0	0	0	3307557	0	0	1800483	0	0
115	LP/LV/GL																		
116	LP/LV/GL	0	0	0	0	0	15123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	753381	0	0
117	LP/LV/GL																		
118	LP/LV/GL	3627	55412	0	0	0	71081	2617	0	0	3004	0	0	0	0	20505	3422467	0	0

Anexo II. Tipos de cobertura vegetal en Yucatán.

Manglar²²

Tipo de vegetación que se desarrolla en las zonas bajas y fangosas de las costas, en esteros y lagunas costeras bajo la influencia de agua salobre. Las principales especies arbóreas son: *Rhizophora mangle* (Mangle Rojo), *Avicennia germinans* (Mangle Negro), *Laguncularia racemosa* (Mangle Blanco) y *Conocarpus erecta* (Botoncillo).

Popal -Tular

Popal.- Vegetación herbácea que se desarrolla en las planicies costeras palustres con Gleysoles e Histosoles principalmente, con agua permanente, las plantas viven enraizada en el fondo, sobresaliendo del agua sus hojas. Las plantas que forman esta comunidad son: *Calathea* sp. (Popoay), *Thalia geniculata* (Quentý), *Heliconia* spp. (Platanillo) y algunas especies acuáticas como *Leersia* sp., *Paspalum* spp., *Panicum* spp. y *Cyperus* spp., entre otros.

Tular.- Se caracteriza porque sus componentes tienen hojas largas y angostas o carecen de ellas. Se les conoce como Tules y pertenecen principalmente a los géneros *Typha*, *Scirpus* y *Cyperus*. Incluye los llamados "Saibadales" de *Cladium jamaicense* y los "Carrizales" de *Phragmites communis* y *Arundo donax*.

Selva baja subperennifolia

Es una selva de 4 a 12 m que se caracteriza porque del 25 al 50% de sus componentes tiran sus hojas en la época seca. Se desarrolla en terrenos con drenaje deficiente suelos de los grupos Gleysol y Stagnosol. Las especies más comunes son: *Haematoxylon campechianum* (Palo de tinte, Tinto, Ek), *Bucida buceras* (Puctý), *Metopium brownei* (Chechým), *Byrsonima bucidaefolia* (Sakpah), y abundantes ciperáceas y gramíneas.

²² Clasificación realizada con base en el INEGI <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/poblacion/default.aspx?tema=me&e=31>. Consulta 19 de abril del 2013.

Selva mediana subperennifolia

Esta selva ocupando tanto planicies como lomeríos con buen drenaje. Es una comunidad vegetal que en la época más seca del año tira entre el 25 y el 50% de sus hojas, y los elementos arbóreos tienen entre 15 y 30 m de alto. Está constituida por varios estratos de entre 7 y 25 m de altura, además de los estratos arbustivo y herbáceo. Las especies más notorias son algunos árboles como: *Manilkara zapota* (Chicozapote), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Lysiloma spp.* (Guaje, Tepeguaje, Tzalam), *Bursera simaruba* (Palo Mulato, Copal, Chacý), y *Vitex gaumeri* (Ya'axnik), entre otros.

Selva mediana subcaducifolia

Un 50 a 75% de las especies dominantes tiran las hojas. Las principales especies son: *Brosimum alicastrum* (Ramón, Capomo, Ojoche), *Hymenaea courbaril* (Guapinol), *Hura polyandra* (Habillo), *Vitex gaumeri* (Ya'axnik), *Bursera simaruba* (Mulato, Chacý), entre otras.

Selva mediana caducifolia

Comunidad de árboles entre 15-20 m de alto, estrechamente relacionada con las Selvas Baja Caducifolia y Mediana Subcaducifolia. Se presenta principalmente en la parte central de Yucatán en una franja NE-SO. Las principales especies son: *Lysiloma latisiliqua* (Tzalam), *Piscidia piscipula* (Jabín), *Bursera simaruba* (Chacá), *Cedrela mexicana* (Cedro rojo), *Cordia spp.*, *Alvaradoa amorphoides*, entre otros.

Selva baja caducifolia y subcaducifolia

Comunidad vegetal con árboles con altura entre los 4 y 15 m, se caracteriza porque más del 75% de sus árboles dominantes pierden totalmente el follaje durante la época seca del año (6-8 meses). Se desarrolla en climas Aw0, BS en las planicies kársticas con dominancia de Leptosoles. Su composición florística es muy variada, algunas especies dominantes son: *Bursera simaruba* (Chacá), *Bursera spp.*, *Lysiloma spp.*, *Ceiba spp.*, *Cordia spp.*, *Ipomoea spp.*, *Leucaena spp.*, *Pithecellobium spp.*, y varias cactáceas candelabriformes.

La Selva Baja Subcaducifolia es una comunidad muy semejante en general a la Selva Baja Caducifolia, excepto en que los árboles dominantes conservan por más tiempo el

follaje a causa de una mayor humedad edáfica. Se caracteriza porque del 50 al 75% de sus componentes tiran sus hojas durante la época de sequía, está compuesta por árboles de 8 a 15 m de altura. Algunas de las especies más representativas son: *Metopium brownei* (Chechem negro), *Lysiloma latisiliqua* (Tzalam), *Beaucarnea ameliae* (Ts'ipil), *Agave angustifolia* (Ki, Babki), *Pseudophoenix sargentii* (Kuka', Palma), *Bursera simaruba* (Chacá), *Nopalea gaumeri* (Tzakam), *Bromelia* spp. (Ch'om), *Thevetia gaumeri* (Akits), y *Coccoloba* spp. (Boop), entre otros.

Sabana

Pradera de gramíneas y ciperáceas, con vegetación arbórea dispersa, creciendo sobre terrenos con drenaje deficiente (Gleysoles, Stagnosoles e Histosoles) y nivel freático superficial; se inundan en época de lluvias y en la de secas los suelos se endurecen y se agrietan. Se distribuyen principalmente en las partes planicies intermontanas y planicies kársticas cercanas a la costa. Algunas especies herbáceas corresponden a los géneros *Andropogon*, *Paspalum*, *Imperata*, *Panicum*, *Dichromena*, *Cyperus*, entre otros, así como árboles bajos como *Crescentia alata*, *C. cujete*, *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia*, entre otros.

Vegetación Halófila

Comunidades vegetales arbustivas o herbáceas que se desarrollan en Regosoles y Solonchak en las partes bajas de las planicies costeras. Las comunidades gipsófilas. Tienen especies de *Frankenia*, *Fouquieria*, *Dicranocarpus*, *Sartwellia*, *Petalonyx*, *Selinocarpus*, *Flaveria*, *Haploesthes*.

Selva Baja Espinosa

Es una comunidad dominada por árboles espinosos, que se desarrolla en climas Aw0 y BS ligeramente secos o muy secos sobre planicies kársticas con Leptosoles nudilíticos y Líticos.

Vegetación de duna costera

Comunidad vegetal con especies con hojas en roseta, arbustos inermes y espinosos y cactáceas que se desarrollan sobre Regosoles y Arenosoles, bajo la influencia de vientos marinos. Sus principales especies son: *Acanthocereus pentagonus* Britton et Rose, *Suaeda linearis* (Elliot) Moq, *Bravaisia tubiflora* Hemsl y *Agave angustifolia* Haw.

Anexo III. Grupos de suelo según la WRB (2006).

Leptosol (LP)

Corresponde a los suelos que: 1) están limitados por una profundidad menor o igual a los 25 cm en los que se localiza la roca dura y continua, con una secuencia de horizontes A(B)R o 2) se encuentran sobre un material con más de 40% de carbonato de calcio y con la misma profundidad de suelo ya mencionada, con una secuencia de horizontes A(B)C o 3) contienen menos de 10% de tierra fina hasta una profundidad de 75 cm o más. Estos suelos están asociados a Cambisoles, Regosoles, Calcisoles, Luvisoles e Histosoles.

Cambisol (CM)

Grupo de suelos con desarrollo moderado debido a la edad pedogenética o por la recepción de material de reciente deposición; presentan propiedades muy diversas. El horizonte cámbico es un horizonte B; se identifica por: 1) textura franco arenosa o más fina; 2) estructura moderada; 3) evidencia de alteración con respecto al material subyacente (croma más fuerte, matiz más roja, mayor contenido de arcilla, o evidencia de remoción de carbonatos); 4) no tiene estructura quebradiza y 5) capacidad de intercambio catiónico (CIC) mayor de 16 cmol kg⁻¹ de arcilla o suma de bases intercambiables más acidez intercambiable menor de 12 cmol kg⁻¹, espesor de, por lo menos, 15 cm y, en total, por lo menos, 25 cm de profundidad. El horizonte B cámbico puede estar presente en otros grupos de suelo debido a que existen otras propiedades o materiales u horizontes de diagnóstico de mayor prioridad, como: el horizonte sálico, vítrico, ándico, mólico, gypsico, cálcico o las propiedades gléyicas, por ejemplo. Esto ocasiona que para que un suelo sea considerado como Cambisol, además de tener el horizonte cámbico, no debe tener los horizontes o las propiedades antes mencionadas.

Nifisol (NT)

Tiene un horizonte subsuperficial rico en arcilla, textura franco arcillosa o más fina, con estructura poliédrica o nuciforme fuertemente desarrollada. Presenta CIC de

moderada a baja, producto de la presencia de arcillas del tipo 1:1. Muestra un desarrollo de perfil del tipo ABtC.

Luvisol (LV)

Corresponde a suelos con un horizonte de acumulación de arcilla, rico en saturación de bases, capacidad de intercambio de cationes igual o mayor a $24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla, saturación por aluminio menor a 60%, entre 25 y 125 cm de profundidad. Puede tener un horizonte álbico, vértico, cálcico o férrico. Muestran un desarrollo de perfil del tipo ABtC o AEBtC.

Vertisol (VR)

Pertenece a los que presentan un horizonte vértico dentro de los 100 cm desde la superficie. Después de los primeros 20 cm, todos los horizontes tienen 30% de arcilla hasta el contacto lítico o los 100 cm de profundidad; los agregados son en forma de cuña o paralelepípedos, muestran caras de deslizamiento y deben presentar grietas que se abren y cierran periódicamente. Se desarrollan en zonas en las que predomina la presencia de arcillas expandibles 2:1 del grupo de la *Smectita* y se localizan en las partes bajas del relieve.

Gleysol (GL)

Se caracteriza por la presencia de propiedades gleyicas dentro de los primeros 50 cm de profundidad, es decir, son suelos no estratificados en áreas inundables. La prolongada saturación del suelo por agua del acuífero ocasiona, en presencia de materia orgánica, la reducción y lavado del hierro (Fe) por las condiciones reductoras. Esta situación se identifica en el perfil por la presencia de colores grisáceos y/o azulados en su parte baja; donde fluctúa el agua, se forman motas pardas, rojas o amarillas producto del proceso alterno de reducción-oxidación.

Arenosol (AR)

Grupo de suelos formados por texturas que van de arena francosa a más gruesas y tienen menos de 35% de fragmentos de roca u otros fragmentos gruesos dentro de los 100 cm de profundidad desde la superficie.

Solonchak (SC)

Grupo de suelos que tienen un horizonte sálico que comienza dentro de 50 cm de la superficie del suelo y sin horizonte tiónico que comienza dentro de 50 cm de la superficie del suelo. Los Solonchaks son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año.

Stagnosoles

Son suelos que presentan dentro de 50 cm de la superficie del suelo mineral en algunas partes condiciones reductoras por algún tiempo durante el año y en la mitad o más del volumen del suelo, solo o en combinación: a) un patrón de color stágnico; o b) un horizonte álbico. Además sin lenguas albelúvicas que comienzan dentro de 100 cm de la superficie del suelo.

Histosoles

Son suelos que presentan una u otra de las siguientes características: 1) 10 cm o más de espesor comenzando en la superficie del suelo e inmediatamente por encima de hielo, roca continua, o materiales fragmentales, cuyos intersticios están rellenos con material orgánico; o 2) acumulativamente dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, ya sea 60 cm o más de espesor si 75 por ciento (en volumen) o más del material consiste de fibras de musgos o 40 cm o más de espesor en otros materiales y comenzando dentro de los 40 cm de la superficie del suelo.