



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

INFERENCIAS SOBRE EL USO DE
CANALES MAYAS EN LA ZONA DE PICH,
CAMPECHE, MEDIANTE EL ESTUDIO DE
SUS SUELOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

Luis Daniel Olivares Martínez

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Francisco Bautista Zúñiga

CO-DIRECTOR DE TESIS: Dr. David Jesús Palma López

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la sesión extraordinaria 02 del H. Consejo Técnico de la ENES Unidad Morelia celebrado, el día 08 de abril del 2015, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional del alumno **LUIS DANIEL OLIVARES MARTÍNEZ** con número de cuenta **411014759**, con el trabajo profesional titulado: "**Inferencias sobre el uso de canales mayas en la zona de Pich, Campeche, mediante el estudio de sus suelos**" bajo la dirección del Tutor.- **Dr. Francisco Bautista Zúñiga.**

Presidente:	Dr. Felipe Francisco García Oliva
Vocal:	Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú
Secretario:	Dr. David Jesús Palma López
Suplente:	Dra. Berenice Solís Castillo
Suplente:	Dr. Francisco Bautista Zúñiga

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 09 de abril del 2015.


DRA. TAMARA MARTÍNEZ RUIZ
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Apartado Postal 27-3 (Santa Ma. De Guido), 58090, Morelia, Michoacán
Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)322.38.05 y (55)56.23.28.05
www.enesmorelia.unam.mx

Reconocimientos

A la Licenciatura en Ciencias Ambientales como la institución que permitió formarme, deformarme y reformarme en el profesionalista que ahora soy. Al Dr. Manuel Mendoza Cantú, al Dr. Felipe García Oliva, a la Dra. Berenice Solís Castillo, al Dr. Francisco Bautista Zúñiga y al Dr. David Jesús Palma López, como miembros del jurado ante la defensa de esta tesis; se les agradece el tiempo invertido en el sustentante de dicha tesis, es decir, yo.

A los funcionarios de servicios escolares del campus Morelia, por su loable labor de agilizar todo lo que hay detrás del crecimiento y surgimiento de un ambientólogo: recibiendo sus papeles desde que es un prospecto, pasando por todo el ajetreo que resulta su tránsito por la carrera, hasta estos últimos trámites, siempre eficaces, eficientes y con un trato digno.

Al Consejo De Arqueología del Instituto Nacional de Arqueología e Historia (INAH) se le agradece su autorización para trabajar en el proyecto, tanto en 2008 como en la temporada de 2013 a 2015.

Gracias a la beca otorgada por el CONACyT, que financió el proyecto 169915-21131-1479, coordinado por el Dr. Francisco Bautista, y al fondo NatGeo 9536-14: “Research on Irrigation and Drainage Functions of Maya Canals at Cauich, Campeche”, donde la Dra. Betty Berenice Faust es directora del proyecto. Parte importante del financiamiento para los viáticos para mi viaje al sitio de estudio, apoyo en campo y estadías salieron de ambos apoyos.

Agradecimientos

Pensar en individuos sin sociedades ni procesos de construcción detrás es una falacia que nos orilla más al fanatismo que a una veraz sensibilidad de la realidad. Esta tesis tiene mucha gente detrás que fue abonando a este trabajo, catalizando mi continuo proceso de aprendizaje y construcción del conocimiento. Aún sin saberlo, muchas de las personas mencionadas fueron cruciales para resolver importantes nudos en este trabajo. Grandes o chicos los aportes, eso no importa, sin su influencia definitivamente esta tesis no hubiera logrado el mismo contenido ni hubiera podido concluirse en tan ventajoso tiempo.

Los primeros que quiero mencionar son mis mentores de tesis, casi como gurús, lograron dar buen cauce a mi proceso de investigación: Dr. Bautista, gracias por haberme recibido desde el principio y haberme mostrado lo versátil y maravilloso que es el mundo de la edafología; Dr. Palma, muchas gracias por haberme recibido como tutorando aún sin saber de mi existencia al principio, su disponibilidad para instruirme y tan agradables charlas no se olvidan y quedan como bases sólidas que consolidaron mi formación edafológica profesional; Pavel (Dr. Krasilnikov) en verdad sigo apreciando aquel rigor ruso con el que en día y medio nos volviste a Alma y a mí precisos evaluadores de suelos en campo, el miedo ante un perfil desconocido desaparece cuando recuerdo tus lecciones y consejos; Rosa (Dra. Poch), Peter (Dr. Shad) y Bere (Dra. Solís), muchas gracias por su guía y por estar tan abiertos a recibir cualquier consulta que les hiciera (sin importar lo simple que pudiera resultar), eso me hace apreciarlos mucho, no sólo como brillantes edafólogos, sino como valiosas personas; Alejandro (Dr. Casas), Dra. Rojas Rabiela, Dr. Vargas Pacheco, Dr. Gama, Dra. Solleiro, Dra. Soler y Arqueol. Alan Barrera, gracias por recibir y orientar a tan peculiar forastero que apareció un día en sus cubículos con muchas preguntas y que se llevó gratas experiencias y muchas ideas para seguir abordando su tesis.

También aprecio mucho el acompañamiento y motivación que me dieron todas mis roomies, que supieron tolerar el caos que plasmaba en casa cuando

todo era confuso en mi investigación. Así mismo, agradezco la disponibilidad de todos y cada uno de los vigilantes e intendentes del campus para permitir mis excéntricas e impredecibles formas de trabajo, una disculpa por tantos sustos que inconscientemente les daba cada que trasnochaba sin avisarles.

De igual forma agradezco el apoyo incondicional y desinteresado (excepto por las ganas de compartir sus conocimientos), de Felipe García Tenorio, Rosaura Páez Bistrain, Hilda Rivas Solórzano, César Salcido Berkovich, Rafael Torres de León, Sol Hernández Bernal y de todos sus estudiantes de geociencias con los que aprendí mineralogía y petrología.

Les agradezco a Betty, Mirza, Alberto (Caparacho), Abraham y toda la gente tan genial y hermosa de la comunidad de Pich, esos días de Campeche los atesoraré por siempre. Y aunque ya estaban implícitos en líneas anteriores les agradezco de forma explícita a Andrés Piña Garduño, a Imuris Urbina Islas y a Diana Jazmín Chávez, roomies y amigos para largo.

La libertad para poderme mover tanto, para poder ir y venir por el país no ha sido de a gratis, todo ello ha sido fruto del esfuerzo de mis padres, por ello les agradezco que no me hayan dejado de apoyar, a pesar de que ello implique aplazar más los momentos de visita. Me han permitido crecer tanto como he querido. Gracias a toda mi familia porque sé que, a pesar que todo colapse, ustedes siempre estarán allí.

Resumen

Durante el 2008 se reportó en Campeche, México, un sistema prehispánico maya de conductos y depósitos de agua, vinculado a edificios. Entre lo que aún busca esclarecerse resalta el desconocimiento en torno a cuál fue su uso y función. Este estudio busca resolver esa incógnita mediante el estudio de sus suelos y condiciones del paisaje asociadas.

Se hizo un levantamiento de los suelos, las geoformas y las técnicas de manejo del agua del área. Se identificaron en gabinete sus patrones de drenaje y su clima. Se realizaron análisis físicos, químicos y magnéticos a dos perfiles de suelo del área. Se identificaron grupos de suelo y calificadores asociados.

El ambiente del sitio es kárstico y antiguo, con desarrollo de Phaeozems, Leptosols, Stagnosols, Nitisols y Vertisols. Presenta un clima Aw1(i')gw". Las partes bajas tienen suelos palustres influenciados por agua estancada y no por el manto freático (como se pensaba). El suelo al interior de los canales presenta marcadas diferencias en parámetros físicos, químicos y magnéticos con respecto a suelos aledaños.

Las principales formas de manejo del agua fueron canales de drenaje, depósitos de abastecimiento y control de inundaciones y pozos poco profundos como abastecimiento auxiliar. Estos sistemas incorporan a dolinas y ponoras como formas de drenaje y control de inundaciones.

Los canales y almacenes de la zona de estudio pudieron haber servido para drenar y contener el agua en época de lluvias y proveerla durante el estiaje. El aprovechamiento del drenaje natural refleja un claro entendimiento de los mayas que los diseñaron en la dinámica geohidrológica del paisaje.

Abstract

A Maya water management-system was reported in 2008 near Campeche, Mexico. There are several unknowns about, like the functions and purposes of the system. This research aims to solve it through the survey of soils and other associate characteristics of the landscape.

A geopedological survey and a revision of the water management techniques were made in the area. Climate and drainage raw data were collected from literature and analyzed. There were sampled two soil profiles for doing physical, chemical and magnetic analysis. All the soil profiles involved were classified on a group and qualifiers level.

The study site is an old karstic landscape with Phaeozems, Leptosols, Stagnosols, Nitisols and Vertisols. There is an Aw1(i')gw" climate. Contrary to the expected, lowlands have marsh soils influenced by stagnant water instead oscillating water table. The soils inside the canals have magnetic, chemical and physical differences strong enough to differentiate them from the adjacent natural soils.

The main management-systems reported were drainage canals, provision and control dams and auxiliary supplying shallow wells. They incorporate sinkholes and ponors as the end member of the drainage and flood-control systems.

Canals and dams on the study area could have served for rainwater draining and storing during rainy season and for the water supplying in the dry season. The way in the Maya employed the water recourses reflects their clearly understanding of the hydrogeology dynamics through their landscape.

Índice

Reconocimientos	i
Agradecimientos.....	iii
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Cuadros	viii
Índice de Figuras	viii
1 Introducción	1
1.1 <i>Pregunta de investigación</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Objetivos.....</i>	<i>3</i>
2 Marco conceptual	5
3 Sitio de Estudio	9
4 Materiales y métodos.....	13
4.1 <i>Descripción de las formas prehispánicas de manejo del agua en la zona arqueológica.....</i>	<i>13</i>
4.2 <i>Características de la cuenca y el clima de Pich, Campeche</i>	<i>13</i>
4.3 <i>Procesos pedogenéticos en suelos dentro de un canal y en sus alrededores.....</i>	<i>16</i>
4.4 <i>Análisis espacial de los usos de la tierra.....</i>	<i>17</i>
5 Resultados y discusión.....	19
5.1 <i>Descripción de las formas prehispánicas de manejo del agua en la zona arqueológica.....</i>	<i>19</i>
5.2 <i>Características de la cuenca y el clima de Pich, Campeche</i>	<i>25</i>
5.3 <i>Los procesos pedogenéticos dentro y alrededor del canal 1</i>	<i>34</i>
5.3.1 <i>Descripción de campo</i>	<i>34</i>
5.3.2 <i>Propiedades de los suelos dentro y fuera del canal 1</i>	<i>41</i>
5.3.3 <i>Clasificación de los suelos dentro y fuera de los canales</i>	<i>48</i>

5.4 Usos de la tierra en la zona arqueológica.....	51
5.4.1 Verificación y cartografía de suelos.....	51
5.4.2 Discusión final.....	63
6 Conclusiones.....	59
7 Bibliografía.....	61
8 Apéndice 1. Ubicación de los perfiles. Datum: ITRF92.....	74
9 Apéndice 2. Distribución de suelos en el sitio de estudio.....	75

Índice de Cuadros

CUADRO 1. GEOFORMAS KÁRSTICAS A NIVEL DE RELIEVE Y MODELADO.....	14
CUADRO 2. DEFINICIONES DE GEOFORMAS A NIVEL DE FORMA DE TERRENO.....	15
CUADRO 3. BASES INTERCAMBIABLES Y FÓSFORO EXTRACTABLE.....	44
CUADRO 4. CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES VERIFICADOS EN CAMPO Y LOS RECOPIADOS EN LITERATURA PREVIA.....	55
CUADRO 5. RELACIONES GEOPEDOLÓGICAS CON LOS CRITERIOS DE MAPEO DE LA WRB 2014.....	57

Índice de Figuras

FIGURA 1. LAS GRANDES ZONAS DE LA DISTRIBUCIÓN MAYA, TOMADA DE HENDERSON (1981).....	8
FIGURA 2. REGIONES FISIográfICAS DE LAS TIERRAS BAJAS DEL NORTE. TOMADO DE WEIDIE (1985).....	9
FIGURA 3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, AL SUR DE LAS COMUNIDADES PICH Y QUETZAL EDZNÁ, CAMPECHE.....	10
FIGURA 4. SARTENEJAS (A LA IZQUIERDA) Y LAPIAZ, CAVIDAD NATURAL DE LA ROCA SIN REDONDEARSE (A LA DERECHA).....	19
FIGURA 5. DOS EJEMPLOS DE <i>CHULTUNES</i> EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	21
FIGURA 6. UBICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MANEJO EN EL ÁREA DE ESTUDIO CON INFORMACIÓN DE ANAYA HERNÁNDEZ Y FAUST-WAMMACK 2012, ELABORACIÓN PROPIA.....	23
FIGURA 7. PROMEDIOS MENSUALES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET ₀) SEGÚN EL MODELO DE THONTHWAITE.....	26

FIGURA 8. TEMPERATURA MENSUAL PROMEDIO (°C).....	27
FIGURA 9. TENDENCIA DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS, MEDIAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EDZNÁ.....	28
FIGURA 10. TENDENCIA DEL PROMEDIO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EDZNÁ.....	29
FIGURA 11. MAPA DE DRENAJE, CUENCAS Y GEOFORMAS.....	30
FIGURA 12. A LA IZQUIERDA, UNA PONORA EN FORMA DE CAVIDAD RELLENA DE TIERRA. A LA DERECHA, VISTA DESDE EL FONDO DE UNA DOLINA, LA CUAL CONTIENE A LA PONORA.....	31
FIGURA 13. SUELO DENTRO DEL CANAL AZOLVADO 1.....	35
FIGURA 14. SUELO 5M AL SUR DEL CANAL AZOLVADO 1.....	38
FIGURA 15. DENSIDAD APARENTE, POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH) Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	41
FIGURA 16. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC), SATURACIÓN DE BASES Y MATERIA ORGÁNICA.....	43
FIGURA 17. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE Y DE HUMEDAD APROVECHABLE.....	45
FIGURA 18. GRANULOMETRÍA (TEXTURA) CON CLASES TEXTURALES ABREVIADAS (ARCILLOSA, R, EN TODOS LOS CASOS) DEL PERFIL DESCRITO DENTRO DE LO QUE SE CREE FUE EL CANAL PREHISPÁNICO 1 (A LA IZQUIERDA) Y EL SUELO 5M AL SUR (A LA DERECHA).....	47
FIGURA 19. SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA (χ_{Df}) Y ESPECÍFICA DE MASA (χ_k).....	47
FIGURA 20. AGUADA AZOLVADA. NÓTESE COMO LAS PROPIEDADES VÉRTICAS EN EL AZOLVE DELIMITAN SU FORMA.....	48
FIGURA 21. DIAGRAMA DE LA TRINCHERA HECHA AL CANAL 1 Y LOS PUNTOS DE DESCRIPCIÓN EN CAMPO (MODIFICADA, ORIGINAL CORTESÍA DE LA ARQUEOL. MIRZA LIRA CHIM).....	52
FIGURA 22. FOTOGRAFÍA DE CARACOL (<i>JUTE</i>) EN LOS PRIMEROS CENTÍMETROS DEL SUELO, AL CENTRO DEL CANAL AZOLVADO 1.....	52
FIGURA 23. ALGUNOS DE LOS SUELOS VISTOS EN LAS GEOFORMAS: PHAEZEM (PERFIL 17) DE LOS CONOS KÁRSTICOS, STAGNOSOL (PERFIL 19) Y VERTISOL (PERFIL 20) SOBRE LOS VALLES SECOS Y VERTISOL (PERFIL 15) EN LOS FONDOS DE DOLINAS.....	53
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN EL PAISAJE KÁRSTICO.....	59
FIGURA 25. CATENA CON ZONAS DE MAYOR INFILTRACIÓN Y DE EDIFICIOS.....	60
FIGURA 26. RECONSTRUCCIÓN HIPOTÉTICA DEL PAISAJE DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA CUANDO EL SISTEMA DE CANALES Y AGUADAS SE ENCONTRABA EN FUNCIONAMIENTO.....	56

1 INTRODUCCIÓN

Durante el año 2008 se reportó ante el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) un probable sistema prehispánico de canales y almacenes de agua (mejor conocidos como aguadas) cerca del poblado de Pich, dentro del municipio de Campeche (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012). Parece ser una forma de manejo del agua asociada a un complejo de edificios mayas del periodo Clásico, con relictos de cerámica de hasta el Preclásico (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012).

A partir de entonces se han seguido varias líneas de investigación en torno al posible sistema de manejo de agua. Una de esas líneas ha sido el averiguar el uso al que pudo haber sido destinado cada elemento. Hasta ahora se ha logrado identificar un posible canal y un almacén mediante fotografías satelitales de alta resolución, sondas de georadar y levantamientos topográficos de gran escala (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012).

A pesar del esfuerzo interdisciplinario de investigación, aún existe incertidumbre en torno al uso del sistema de manejo. Por un lado, entre el equipo de investigación se han discutido las opciones de irrigación y de aprovisionamiento de agua; por el otro, los actuales pobladores del área -foráneos de identidad Menonita- señalan que el espacio inmediato a los canales tiene pésima irrigación y drenaje, incluso, no descartaban la posibilidad de eliminarlo con la intención de mejorar sus cultivos, cosa que el equipo de investigación considera sería una tragedia de hacerse (Faust Wammack & Suárez Aguilar, 2013).

En la zona son escasos los trabajos de este tipo, lo cual dificulta el entendimiento del sistema a través de la revisión de otros sistemas de manejo cercanos (Sharer, 1998; Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009). El sitio arqueológico más próximo es Edzná, se encuentra 20 km al norte en el valle del Puuc y cuenta con una de las redes de

canales de irrigación y drenaje más grandes de la zona (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983; Sharer, 1998).

También en Edzná ha sido un problema dilucidar el uso de sus canales entre irrigación, drenaje o un uso mixto ya que, a pesar de la intensiva investigación que tuvo el sitio en los 70's, el gobierno mexicano destruyó gran parte del sitio para establecer cultivos de arroz; se cree que pudieron usarse como protección, como control de inundaciones y forma de abastecimiento para la temporada de sequía (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983). Sin embargo, estas inferencias no necesariamente aplican para la zona arqueológica ya que su relieve es diferente (Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003; Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009), muestra de ello se ve en la profundidad al acuífero, de más de 100 m en Pich y de menos de 25 m en Edzná (INEGI, 1985; Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003).

Aunque toda la región se compone de formaciones sedimentarias de calizas, Edzná se encuentra en una planicie de acumulación, mientras que Pich y el proyecto Cauch se ubican sobre una zona de lomeríos kársticos (INEGI, 1985; Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003; Servicio Geológico Mexicano, 2005). El ambiente geológico de Pich y el proyecto Cauch tiene una antigüedad de más de 55 millones de años, pertenece a la región de mayor karstificación de la península de Yucatán, lo cual lo vuelve complejo en términos hidrogeológicos y geomorfológicos (Servicio Geológico Mexicano, 2005; Ford & Williams, 2007)

No sólo Edzná es un ejemplo cercano, en el mismo poblado de Pich se encuentran ejemplos claros y vigentes de técnicas prehispánicas para el manejo del agua superficial. Cuenta con un sistema maya compuesto de canales de drenaje y una dolina adaptada como reservorio regulador de inundaciones, mejor conocido como aguada, el cual se usa desde tiempos precolombinos (Faust B. B., 2010).

Hasta ahora sólo se han hecho caracterizaciones exploratorias de la hidrología y de las geoformas del sitio (INEGI, 1985; Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez,

Palacio Aponte, & Castillo González, 2003; Bautista, Estrada, Jiménez, & González, 2004; Servicio Geológico Mexicano, 2005). Empero, para hacer interpretaciones adecuadas de la dinámica del agua, y con ello de las limitaciones a su manejo, se requieren trabajos a una escala geográfica mayor (Ford & Williams, 2007; Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2009; Zinck, 2012).

Cada una de las situaciones antes mencionadas hace fundamental caracterizar el medio físico para comprender las necesidades de manejo en la zona a través de la dinámica de su entorno biofísico. También se vuelve necesaria la aplicación de enfoques que permitan integrar dicha información en interpretaciones útiles para la labor arqueológica. Constituyentes como el suelo, las geoformas, el clima y la geología se vuelven importantes registros naturales y arqueológicos para tal fin (Ayala, Canti, Heathcote, Sidell, & Usai, 2007; Krasilnikov, Gutiérrez Castorena, Ahrens, Cruz Gaistardo, & Sedov, 2013).

1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En este trabajo de tesis se pretende resolver la siguiente pregunta: ¿Para qué uso fue destinado el sistema de manejo del agua de lluvia de la zona arqueológica de Pich, Campeche?

1.2 OBJETIVOS

Este trabajo busca fundamentar los usos de los canales y aguadas del sistema de manejo del agua de lluvia en la zona arqueológica maya del proyecto Cauich, Campeche, mediante el estudio de su medio físico.

Para este trabajo se entenderá el medio físico como el conjunto de los suelos, de las geoformas, del clima y de la red de drenaje superficial que integran el paisaje kárstico de la zona.

Lo anterior se pretende lograr a través de los siguientes objetivos particulares:

- Identificación de las principales características de la cuenca, el relieve y el clima del proyecto Cauich y de Pich, Campeche (patrones de drenaje superficial,

interfluvios, geoformas, precipitación y temperatura) para entender las limitaciones para el manejo del agua de lluvia en la zona.

- Descripción de las técnicas prehispánicas de manejo del agua de lluvia en la zona arqueológica.
- Descripción y análisis de los procesos pedogenéticos en suelos dentro de un canal y en sus alrededores para delimitar el espacio ocupado por los canales y aguadas.
- Análisis espacial de los suelos para inferir los usos de la tierra y de todo el sistema de manejo del agua de lluvia.

2 MARCO CONCEPTUAL

Dado que las preguntas que se buscan responder son arqueológicas y que los principios y técnicas de respuesta forman parte de las ciencias de la tierra, se adoptará el enfoque híbrido de la Geoarqueología, el cual permitirá vincular estos dos campos del conocimiento en metodologías y lenguajes compatibles (Ayala, Canti, Heathcote, Sidell, & Usai, 2007; Yamazaki, 2010).

Mediante la Geoarqueología se utilizan los principios y técnicas de las ciencias de la tierra para responder preguntas que con métodos convencionales no podrían dar una explicación cabal de un registro arqueológico (Ayala, Canti, Heathcote, Sidell, & Usai, 2007; Yamazaki, 2010). Dentro de los objetos que se estudian desde la Geoarqueología destaca el suelo como un excelente retrato de las características del paisaje, desde las naturales hasta las de origen humano (Ayala, Canti, Heathcote, Sidell, & Usai, 2007; Yamazaki, 2010; Krasilnikov, Gutiérrez Castorena, Ahrens, Cruz Gaistardo, & Sedov, 2013). Es en el suelo que se integran y reflejan varios procesos de la región ya que su origen depende del relieve, del clima, de la vegetación y de la geología (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Brady & Weil, 2007).

Por otro lado, el manejo se define como todo el entramado de técnicas, organización y cosmovisión para el aprovechamiento, la conservación, la restauración e, incluso, la planeación en torno a un recurso en específico, es decir, va más allá del mero aprovechamiento de un recurso (Linding & Casas, 2013). Este trabajo concebirá el manejo de recursos hídricos como el conjunto de técnicas, herramientas y conocimientos empleados para satisfacer cualquier necesidad en torno al agua (v.g. abastecimiento, drenaje, irrigación o control de inundaciones).

Un hecho central para visualizar el manejo del agua entre los mayas, como cultura mesoamericana (Kirchhoff, 1960), es que ha estado basado en condiciones que fluctuaban entre la aridez y la abundancia de agua (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009). Aunque no fue el centro de desarrollo de las civilizaciones de Mesoamérica,

como ha sido el caso de la agricultura, sí fue un factor fundamental en el establecimiento de las sociedades por la satisfacción de necesidades de consumo de agua potable, de drenaje de la misma y de certidumbre para su abastecimiento de alimentos (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009; Faust B. B., 2010).

El correcto aprovechamiento del agua ha sido un factor de éxito tanto en las civilizaciones de Mesoamérica, como en las del mundo del mundo entero. En este sentido, los mayas han destacado por su extendido uso extensivo de técnicas de manejo del agua, que entre su variedad incluyen: su abasto para uso doméstico; su conducción, control y drenaje para evitar inundaciones; su conducción y drenaje para desecho; su provisión en suficiencia para consumo; y su abasto para la recreación y ritualidad, sin dejar de lado la presencia de usos mixtos para un mismo sistema de manejo (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009).

Rojas-Rabiela et al. (2009) han identificado una serie de criterios básicos para caracterizar sistemas de riego agrícola prehispánico que se ha adaptado en el siguiente listado:

- Temporalidad de la fuente de agua que los abastecen (i.e. perennes o estacionales/temporales).
- Métodos de distribución (v.g. por canales, por inundación, por infiltración o manual).
- Escala/Dimensión y alcance (i.e. pequeños, locales, grandes, extensos o regionales).
- Complejidad del sistema en su conjunto (i.e. simples o complejos).
- Durabilidad de las obras e instalaciones (i.e. permanentes o efímeras/temporales).
- Descripción de las obras que forman parte del sistema, según su nombre, función como parte del sistema y finalidad como satisfactor de necesidades (v.g. almacenamiento en tanques y presas para consumo, distribución en canales y surcos para irrigación de cultivos, canales de argamasas para el drenaje de excesos de agua, presas desviadoras de agua para el control de inundaciones y abastecimiento de agua, etc.).

Las civilizaciones mayas se han distinguido, entre Mesoamérica y el mundo, por haberse establecido principalmente sobre suelos que son de difícil aprovechamiento agrícola por su escasa profundidad (Bautista & Palacio, 2011). Sus técnicas de manejo de suelos y agua lograron superar dicha barrera ambiental, característica de la península de Yucatán (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009; Krasilnikov, Gutiérrez Castorena, Ahrens, Cruz Gaistardo, & Sedov, 2013). Sin embargo, al haber climas, relieves e historias geológicas diferentes a lo largo de toda el área de ocupación maya, las necesidades de manejo tuvieron que ser diferenciadas a éstas de alguna manera.

La civilización maya se distribuyó en cuatro grandes zonas (Figura 1): las Tierras Bajas del norte, las Tierras Bajas del sur, las Tierras Altas y las Laderas Costeras del Pacífico (Henderson, 1981; Sharer, 1998), las cuales también se pueden categorizar en términos fisiográficos: las Tierras Bajas del Norte ocupan la totalidad de la península de Yucatán; las Tierras Bajas del Sur yacen sobre la parte oriental de la llanura costera del golfo sur y sobre todo en el Petén de Guatemala; por su parte, las Tierras Altas del Sur ocupan la mayor parte de la Cordillera Centroamericana y de las Sierras de Chiapas y Guatemala.

Los mayas ocuparon todos los espacios antes mencionados durante el periodo Preclásico (s. X a.C. – s. III d.C.) y, principalmente, en el Clásico (s. III – s. IX); durante el periodo Posclásico las únicas áreas habitadas de manera importante fueron los bordes oriental, septentrional y occidental de su área original (Turner II & Sabloff, 2012). Los mayas desarrollaron diferentes formas de aprovechamiento como respuesta a las necesidades que imponen los diferentes ambientes geomorfológicos de la península de Yucatán (Bautista & Palacio, 2011).



Figura 1. Las grandes zonas de la distribución maya, tomada de Henderson (1981).

3 SITIO DE ESTUDIO

El sitio de estudio de la presente tesis se encuentra en las Planicies y Lomeríos del Sur, conocido también como sistema carso-tectónico campechano (Duch Gary, 1991; Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003). Las Tierras Bajas del Norte se dividen a su vez en tres sub-provincias fisiográficas (Figura 2): las Planicies del Norte, las Planicies y Lomeríos del Sur y las Planicies del Este (INEGI, 1985; Quiñones, 1987). Esta área presenta paisajes de karst cónico, con lomeríos de 40m de altura, una altitud alrededor de los 200 msnm y gradientes muy bajos en el manto freático (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983; Lesser & Weidie, 1988; INEGI, 2009; Palacio Aponte, Bautista Zuñiga, & Ortiz Pérez, 2010).

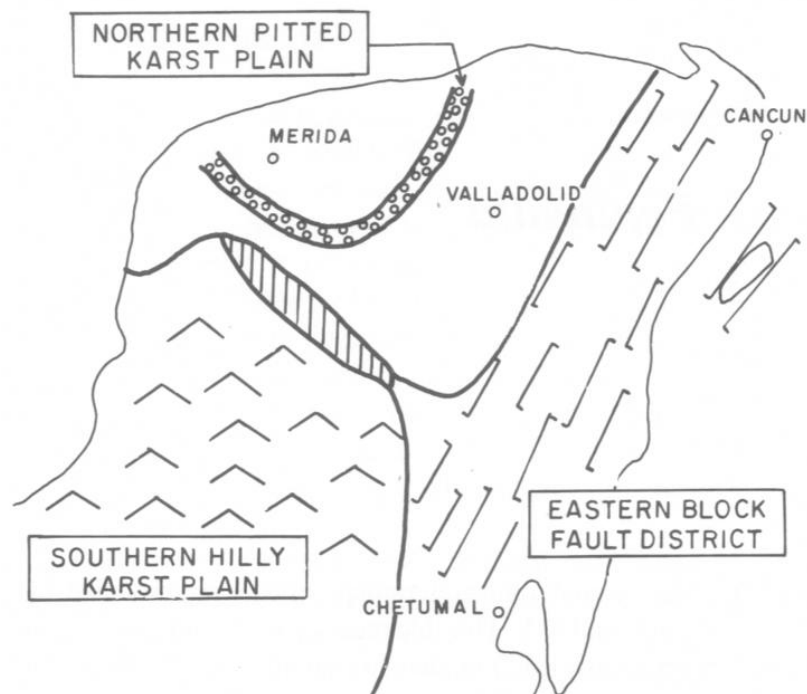


Figura 2. Regiones fisiográficas de las Tierras Bajas del Norte. Tomado de Weidie (1985).

Estos lomeríos están formados de rocas sedimentarias carbonatadas del Eoceno, varias partes presentan fracturas que generan condiciones de alta permeabilidad (INEGI, 1985; Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, &

Castillo González, 2003; Rebolledo Vieyra, 2010). Un efecto derivado de lo anterior son muy bajos gradientes del manto freático. Buscar agua subterránea para explotar resulta difícil y caro, por esto se ha afirmado que hay pocos poblados grandes o desarrollo agrícola en “esta región de mayor topografía y acuíferos profundos” (Lesser & Weidie, 1988).

El lugar de esta investigación, denominado proyecto Cauch, se encuentra a 20 km al sureste de la zona arqueológica de Edzná, a un par del poblado de Pich y a poco menos de 90 km de la ciudad de Campeche (Figura 3). A continuación se presentan varias descripciones, las cuales se pueden considerar como aproximaciones exploratorias (Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2009; Zinck, 2012), pues se basan en cartografías de una escala mucho menor que la que se producirá con este trabajo.



Figura 3. Ubicación del área de estudio, al sur de las comunidades Pich y Quetzal Edzná, Campeche.

El área está circundada por karst cónico, la flanquean fallas geológicas al oeste y al sur (INEGI, 1985; INEGI, 2013). En ella predominan usos del suelo como pastizal y selva media subperennifolia, asimismo existen partes donde se da un uso agrícola al suelo (INEGI, 2002). La tenencia de la tierra es privada en el área del proyecto Cauch, y está

rodeada por núcleos agrarios ejidales hacia el este, sur, oeste y casi todo el norte (INEGI, 2013).

Su clima es de tipo $Aw_2(i')g$: el cálido más húmedo de los subhúmedos con una marcada época seca en invierno y otra corta en el verano y con una oscilación en la temperatura media anual entre 5° y 7°; presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges (o intertropical), es decir, el mes más caliente es antes del solsticio de Verano y tiene una precipitación anual mayor a 1100 mm (García, 1981; INEGI, 1985; Orellana, Islebe, & Espadas, 2003; Orellana, Espadas, Conde, & Gay, 2009). Presenta acuíferos por debajo de los 200 m desde la superficie, una buena infiltración, aguas disponibles en calidad cálcico-bicarbonatada y casi todo el drenaje es sub-superficial (Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003).

El ambiente físico del proyecto Cauich yace sobre una transición entre los siguientes suelos dominantes: Leptosol, Nitisol, Vertisol, y Gleysol (Duch Gary, 1991; INEGI, 1993; Bautista, Palacio Aponte, Quintana, & Zinck, 2011). En el sitio existen asociaciones de rocas calizas y de yeso, con algunos manchones de materiales sedimentarios, todos de la era Cenozoica y época del Paleoceno, con rocas de una antigüedad mayor a los 55 millones de años (INEGI, 1985; INEGI, 1993; Servicio Geológico Mexicano, 2005).

Por su ubicación, las rocas podrían ser parte de la formación Icalché (que se extiende del sur de la península hacia el norte), de la formación indiferenciada del Paleoceno-Eoceno (ubicada en la denominada "*sierrita de Ticul*") o de la formación Chichén Itzá (la cual cubre todo el centro de la península, sin embargo, con rocas del Eoceno, 11 millones de años después del Paleoceno).

El área de Pich y alrededores comenzó a ser ocupada y aprovechada aproximadamente hace 3,000 años, desde el periodo preclásico (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012). Tuvo un importante auge durante el periodo clásico, cuando formaba parte del área limítrofe del centro político de Edzná, con el cual estuvo estrechamente vinculado (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983; Benavides Castillo, 1997). Durante el s. X se reconoce un proceso de abandono de la zona, el cual ocurrió hacia el clásico tardío (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012).

Hacia el s. XVI el área estaba nuevamente siendo aprovechada, ahora por pequeños grupos mayas que tributaban a la ciudad de *Canpech* (ahora Campeche); a principios del s. XVII, con la conquista, fue utilizada como zona de pastoreo y de producción de granos básicos y se intentó aprovechar el agua mediante pozos, cosa que evidentemente no funcionó (Bracamonte y Sosa, 2001). Dicho uso continuó hasta la revolución mexicana, donde el área fue abandonada nuevamente. En la década de los 40's volvió a ser utilizada con los fines agro-ganaderos (Betty B. Faust, comunicación personal); eso hasta este siglo, donde se le empezó a dar un uso de agricultura intensiva para la producción de granos de maíz y sorgo.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS PREHISPÁNICAS DE MANEJO DEL AGUA EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA

Se hizo una revisión bibliográfica en la que se identificaron las técnicas mayas de manejo de agua, se puso especial atención en Edzná y en Pich, esto debido a que Edzná cuenta con una de las redes de canales de irrigación y drenaje más representativas del valle del Puuc, mejor conocido como valle de Edzná (Sharer, 1998).

De igual forma se realizó un levantamiento de las técnicas de manejo de recursos hídricos del sitio de estudio basándose en los criterios adaptados de Rojas Rabiela et al. (2009). Una parte de estos levantamientos fue acompañada por José Alberto Godoy Juárez (mejor conocido como *Caparacho*), un poblador del lugar con buen entendimiento del territorio. Él creció en el pueblo de Quetzal-Edzná y durante los huracanes Gilberto (1988) e Isidoro (2002) tuvo la oportunidad de ver las ponoras drenando toda el agua estacada que inundaba la zona.

Otra parte de la información fue complementada por comentarios personales entre el equipo de investigación. La información levantada en campo se complementó con la revisión de reportes del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) para el área de estudio (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012; Faust Wammack & Suárez Aguilar, 2013)

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y EL CLIMA DE PICH, CAMPECHE

Se adquirió un modelo digital de elevación de la zona como mapa base (INEGI, 2013) y se delimitaron a nivel detallado los cauces naturales, así como los parteaguas. Los cauces se delimitaron marcando las líneas perpendiculares a los contornos de nivel, dirigiéndolas siempre en favor de la pendiente; y los parteaguas se identificaron al delinear las barreras para el flujo del agua, es decir, los interfluvios (Ward & Trimble, 2003).

Utilizando el mismo modelo digital de elevación (INEGI, 2013), se identificaron las principales geoformas en una escala de relieve y modelado (Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2009; Gupta, 2011; Lugo Hubp, 2011; Smith, Paron, & Griffith, 2011; Zinck, 2012). Las geoformas se identificaron con los criterios que se detallan en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Geoformas kársticas a nivel de relieve y modelado.

Geoforma	Definición	Criterios de mapeo
Polje	Llanura, depresión cerrada. Amplia superficie kárstica con fondo plano, delimitada por laderas empinadas. En longitud varía de algunos kilómetros a decenas de ellos, en superficie varía de unos pocos a 400 km ² . Su desagüe es endorreico.	Pendientes internas de 0-3° Bordes con pendientes ≥30° Área total ≤400 km ² Desagüe endorreico
Valle seco	Aquel en el que la corriente fluvial aparece sólo en forma episódica	Pendientes internas de 0-3° Ausencia de ríos o arroyos
Valle ciego	Aquel que carece de corriente fluvial debido que la corriente superficial se convierte bruscamente en corriente subterránea.	Pendientes internas de 0-3° Río o arroyo que desaparece en una dolina o uvala.
Karst cónico	Conjunto de colinas de forma cónica o hemisférica, separadas por depresiones cerradas denominadas <i>cockpits</i> ; las colinas son de 100-150 m de altura y diámetro de hasta 500 m, con pendiente de 40-60°.	Pendientes de 40-60° Forma cónica o hemisférica Altura ≤150m
Karst de mogotes / torrecillas	Relieve de elevaciones de roca caliza, del orden de 200 m de altura y 500 m de diámetro, resultado de la disolución de conjuntos montañosos o lomeríos, misma que se produce en las fracturas de la roca.	Pendientes >40° Forma alargada Altura >150m
Cockpit	Depresión cerrada con forma de estrella que se presenta al pie de los conos kársticos, característica del trópico. Se forma por lluvias torrenciales que erosionan las laderas.	Forma de estrella Pendientes internas de 0-3° Desagüe endorreico

¹ Definiciones basadas en el Diccionario geomorfológico de Lugo Hubp (2011).

En cualquiera de las dos formas de karst que pudieran encontrarse (mogotes o cónico) se hizo un énfasis por identificar cada cono o torrecilla, para las formas de relieve que no correspondieran a cualquiera de éstas o a un valle se les designó como laderas kársticas. También se hizo hincapié en identificar escarpes, que son cambios abruptos entre el piso del valle, similares a terrazas (Lugo Hubp, 2011). Por otro lado se identificaron varias formas del terreno en campo, esto con la intención de obtener una mejor comprensión del funcionamiento de las formas prehispánicas de manejo del agua en el área de estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Definiciones de geoformas a nivel de forma de terreno.

Forma del terreno	Definición
Lapiaz	Conjunto de formas kársticas superficiales, consistente en una agrupación de hondonadas y salientes agudas, separados por una red de surcos. El lapiaz se origina por la disolución de la roca a lo largo de fisuras, tanto en la superficie como en la porción cubierta por el suelo. También denominado Karren.
Ponora	Oquedad en las rocas que conduce agua a profundidad en un macizo kárstico. En la superficie se expresa como grietas de cizalla y pozos; a profundidad se inicia un sistema complejo de canales de circulación vertical del agua. El estadio de formación de las ponoras es el que sigue a la formación del lapiaz en el karst desnudo.
Dolina	Forma negativa del relieve kárstico en plano, es de forma circular o elíptica con un diámetro, en general, menor a 500 m y mayor que la profundidad; en sección transversal presenta forma de embudo, con fondo plano. Se origina a lo largo de grietas o fallas, por lo que es común su alineación con en el relieve.
Uvala	Depresión kárstica cerrada, de diámetro de cientos de metros a unos kilómetros, con un fondo accidentado. Se origina por la coalescencia de dos o más dolinas.

Se hizo una estimación de la evapotranspiración actual mediante el uso de los registros más cercanos al sitio de estudio de precipitación, temperatura máxima, media y mínima; todo ello se obtuvo de la estación meteorológica 4045 (INTA, 2006). Se sistematizó la información y se hicieron análisis estadísticos mediante el uso del software MOCLIC (Bautista, Bautista Hernández, Álvarez, & De la Rosa, 2010) y del software R (R Core Team, 2013). Se clasificó la unidad climática de la estación de forma automatizada (Fuentes Freixanet, s.f.). De igual manera se hizo una revisión bibliográfica de la variación climática a lo largo del periodo de ocupación maya.

4.3 PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN SUELOS DENTRO DE UN CANAL Y EN SUS ALREDEDORES

Se realizaron dos calicatas el 14 de julio del año 2013, la primera en lo que se consideró el centro del paso de un canal principal ("Canal 1" para el proyecto de investigación Cauch) y la otra 5 m al sur del canal 1, buscando estar completamente fuera del paso del mismo. En cada una se describió cada horizonte genético hasta la roca continua (FAO, 2009). Los parámetros descritos fueron el color (Munsell Color, 2000), la proporción de raíces, la presencia y color de motas, el tamaño y la estabilidad de agregados y el porcentaje de gravas.

Se tomó un kilogramo de suelo por cada horizonte y posteriormente se hicieron análisis físicos, químicos y magnéticos. Estos fueron punto de marchitez permanente y capacidad de campo mediante una membrana de presión (Klute, 1986), humedad aprovechable estimada (Klute, 1986), granulometría por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1951; Gee & Bauder, 1986), densidad aparente con el método del terrón parafinado (Blake & Hartge, 1986), conductividad eléctrica con un conductímetro Oakton 8CU28 (ISO 11265, 1994), pH con un medidor de pH Spectrum IQ-150 (Bates, 1983), carbono orgánico (Walkey & Black, 1934), materia orgánica estimada (Walkey & Black, 1934) y fósforo con un espectrofotómetro Jenway 6505 UV/Vis (Olsen & Sommers, 1982). Un par de análisis se realizaron en el Colegio de Postgraduados, estos fueron: capacidad de intercambio catiónico (Chapman, 1965) y saturación de bases intercambiables (Chapman, 1965). Todos estos análisis se interpretaron en términos de fertilidad y uso potencial (NOM-021-SEMARNAT-2000; Salgado García, Palma López,

Castelán Estrada, Lagunes Espinoza, & Ortiz Laurel, 2013). También se hicieron análisis de susceptibilidad magnética de alta y baja frecuencia (Dearing, 1999).

Posteriormente, basándose en los análisis previos se identificaron los procesos pedogenéticos expresados en ambos perfiles y se clasificaron en un segundo nivel de especificidad, incluyéndose todos los calificadores primarios y secundarios que apliquen (IUSS Working Group WRB, 2014).

4.4 ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS USOS DE LA TIERRA

Se integró la información generada en los objetivos anteriores mediante un levantamiento de suelos de la zona arqueológica y alrededores (Rossiter, 2000; Zinck, 2012). Para ello se hizo una recopilación de la información disponible de suelos y su relación con geoformas (INEGI, 1993; Bautista Zuñiga, y otros, 2010; Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012; Palma López, y otros, 2012; Krasilnikov, Gutiérrez Castorena, Ahrens, Cruz Gaistardo, & Sedov, 2013), geología (INEGI, 1985; Servicio Geológico Mexicano, 2005), climas (INEGI, 1985), vegetación (INEGI, 2002) y la propia información generada en este trabajo; en este sentido se hicieron recorridos de campo y descripción de nuevos perfiles durante la tercera semana de diciembre de 2014 para verificar las clasificaciones hechas al canal 1, al suelo fuera de los canales e inmediaciones del sitio.

Con la recopilación anterior se generaron asociaciones geopedológicas (Zinck, 2012), las cuales se representaron cartográficamente en un mapa de suelos que generalizó los nombres de los grupos de suelo en unidades acordes a una escala de mapeo de 1:25,000 (IUSS Working Group WRB, 2014) y se utilizó la leyenda de suelos del Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe (Gardi, y otros, 2014). Finalmente, la recopilación de información y el mapa de suelos permitieron establecer relaciones de uso potencial del territorio, en la época en la que se usó el sistema de canales y aguadas, según cada unidad geopedológica.

Para poder seguir los criterios de mapeo de la WRB 2014 es necesario modificar las clasificaciones originales de la información integrada. Debido a la escala del presente estudio se dejaron el grupo de suelo y los primeros tres calificadores principales, en

caso de tenerlos. En el mayor de los casos, se omitieron los calificadores suplementarios, a menos que por los fines del levantamiento se consideraran relevantes. En cuanto a la representación de la heterogeneidad de unidades cartografiadas, la misma WRB comenta que si un suelo ocupa más del 50% de la unidad se le considerará dominante, si sólo es más del 25% se considerará co-dominante y no se admitirán más de tres suelos co-dominantes, y todo aquel que llegue a cubrir más del 5% considerará como suelo asociado.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS PREHISPÁNICAS DE MANEJO DEL AGUA EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA

Mediante la comparación con literatura previa, recorridos de campo asistidos y el apoyo de los arqueólogos que forman parte del equipo interdisciplinario de investigación, se identificaron cinco técnicas prehispánicas de manejo del agua presentes en todo el sitio de estudio: las sartenejas, las aguadas, los pozos someros, los *chultunes* y los canales (Figura 6).

Una forma de manejo de agua superficial se vio entre las rocas del lugar. Se observaron estructuras redondeadas con formas muy simétricas, talladas al interior de la roca (Figura 4). A pesar de que podría pensarse en una forma de *karren* -o lapiaz- de disolución (Ford & Williams, 2007), su forma pulida y bien redondeada sugiere que fueron talladas como una forma rudimentaria de captación de agua (Abel Morales, comunicación personal). A estas estructuras se les conoce por el nombre de sartenejas.



Figura 4. Sartenejas (a la izquierda) y lapiaz, cavidad natural de la roca sin redondearse (a la derecha).

Las sartenejas son cavidades redondeadas intencionalmente en rocas con oquedades naturales, también se les conoce por el nombre maya de *jaltún* (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009; Manzanilla Haas, 2010). Dichas concavidades, en su forma natural, corresponden con un lapiaz en forma de batea de disolución, o *solution*

pans, por su nombre en inglés (Ford & Williams, 2007). Su temporalidad de recarga es en época de lluvias y la de uso es de muy corto plazo durante la época de secas. La distribución del agua era totalmente manual. El sistema es bastante simple y de escala muy local, sin embargo, son obras permanentes.

Las aguadas son obras de acumulación de agua para control de inundaciones y abastecimiento doméstico a manera de pequeños almacenes; estas estructuras ya han sido descritas por el proyecto de investigación arqueológica en el sitio (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012). En campo no sólo se vieron las estructuras ya reportadas, hay aguadas sepultadas totalmente por sedimentos, consecuencia del trabajo con buldócer que realizan comunidades menonitas en sus actuales terrenos (Betty Berenice Faust, comunicación personal), así como otras que tienen, más bien, forma de dolinas (*véanse* ambas en la Figura 6).

Las aguadas se abastecen con el agua de la época de lluvias. Distribuyen los excedentes de agua mediante canales, y una parte menor por infiltración; por otro lado, su distribución para consumo es manual por cosecha de agua *in situ*. La obra regularmente es grande y forma parte de sistemas extensos que regulan el agua de microcuencas. Al requerir un conocimiento de los cauces naturales del agua y de la desviación de la misma conservando el nivel altitudinal forman parte de sistemas complejos de manejo del agua. Las obras son permanentes, pero requieren mantenimiento de limpieza con desazolves. El sistema de manejo de agua al que pertenecen puede incorporar canales para conducir el agua que va drenando, así como los excedentes, también puede tener en su interior pozos superficiales que permitan prolongar su uso como abastecimiento en época de secas.

Otras estructuras observadas fueron obras de piedra en cavidades de más de dos metros de profundidad. Su principal acceso es por rocas acomodadas a manera de círculos en la superficie del terreno (Figura 5). En la literatura se les conoce a estas obras mayas como *chultunes* (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009).

También se reporta un pozo somero, o casimba, en el piso de la aguada, al igual que una sarteneja. Ambas estructuras se encontraban cubiertas de sedimentos (Betty B. Faust, comunicación personal).



Figura 5. Dos ejemplos de *chultunes* en la zona de estudio.

Los pozos someros y los *chultunes* son obras de captación y almacenamiento del agua, generalmente para consumo humano (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009). El agua que capturan es agua pluvial que sólo cae en época de lluvias (Figura 5). La forma de distribuirla es mediante la cosecha directa, es decir, que la persona que necesite agua debe ir al pozo o al *chultun* directamente para abastecerse manualmente del recurso. La escala es local, ya que la capacidad de almacenamiento no permite un uso intensivo por demasiada gente a la vez. Los sistemas son simples, sólo requieren de rocas para formar sus estructuras y de argamasa para asegurarlas. Ambas obras son permanentes, pero forman parte de sistemas distintos; por un lado el pozo somero forma parte de aguadas o presas pequeñas, mientras que el *chultun* puede existir solo o adornado de más rocas alrededor que generan una pendiente favorable para la concentración de aguas en éste.

Una de las obras con más interés en este trabajo es la de **los canales**. Lo que se observó a primera vista en el sitio de estudio es un desnivel en el terreno en un lugar donde no existen cauces marcados de agua. Se recorrió el canal 1 hasta la zona de edificios, donde se vio que, a la mitad del camino, hay una altitud ligeramente menor que en el principio y el final de este canal, es decir, una suave forma cóncava si se viera de forma transversal. También se observó y confirmó mediante el uso de un GPS que la zona de edificios tiene una mayor altitud respecto a la aguada, por lo que el agua tendería a ir hacia ésta de rebasarse la concavidad. Por ello es posible plantear que este canal comienza en el área de edificios y se dirige a la aguada, a pesar de quedar

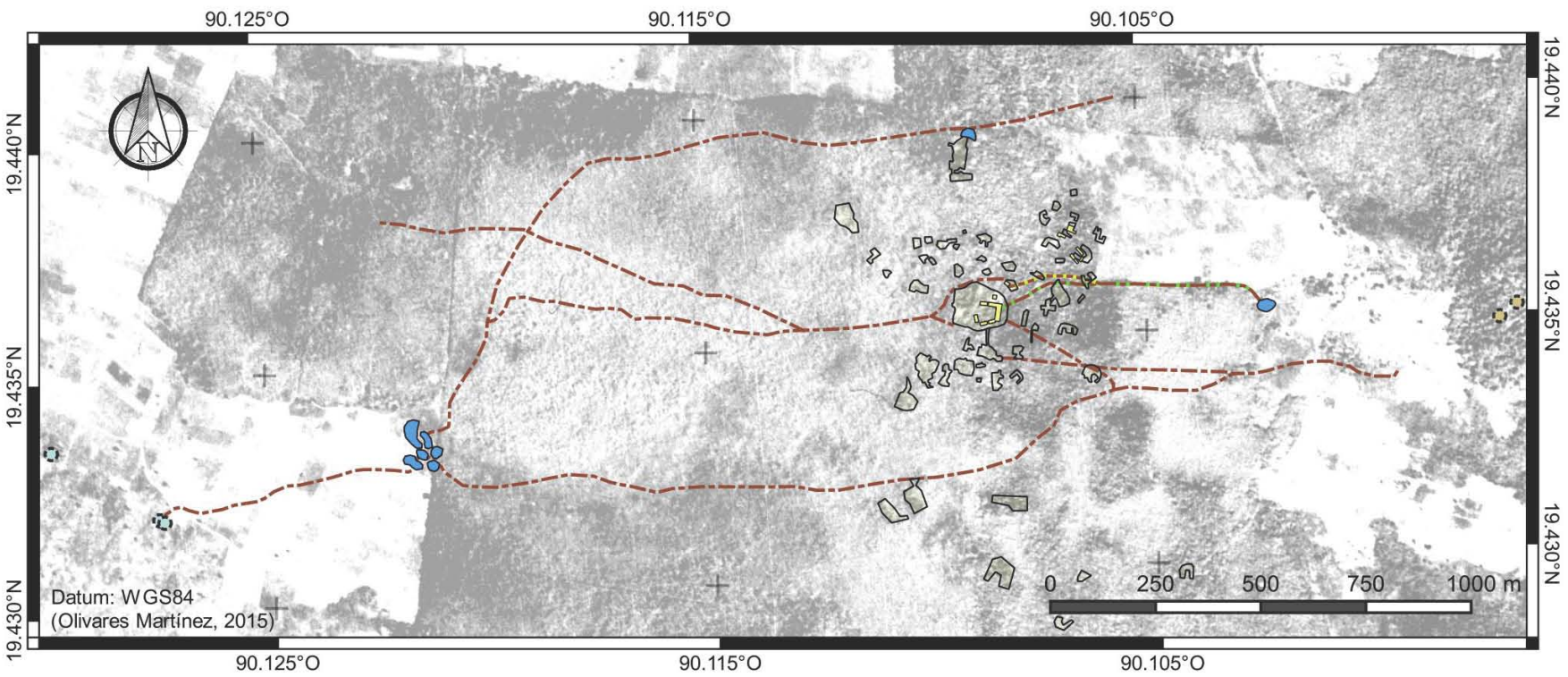
estacada una parte a la mitad del camino, lo cual es consistente con los datos altitudinales de un reporte previo (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012).

Al comienzo del canal 1 se observó otro desnivel, además del documentado en el reporte del equipo de investigación del 2012 (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012). Este desnivel se conecta con el canal 1, ya reportado y georreferenciado, por lo que es probable que se trate de un canal secundario, asociado al primero (véase en la Figura 6 el canal secundario). Parece ser que este canal es el mismo que Mandy Munro-Stasiuk identificó como un canal secundario en la zona de montículos mediante el uso de georradar (también conocido por sus siglas en inglés como GPR).

También se recorrió otro posible canal que conduce desde la zona de edificios hacia una zona con varias agrupaciones de dolinas al oeste, las cuales la gente reconoce como aguadas (José Alberto Godoy Juárez, comunicación personal). Finalmente, el agua se conduce desde las aguadas hasta una dolina en la zona de conos kársticos más al poniente, en cuya base yace cerca una ponora (véase en la Figura 6 la línea ubicada más al sur, que corresponde con este canal inferido).

Es posible seguir el rastro todos los canales, tanto los reportados como los inferidos (Figura 6), mediante la correspondencia de los recorridos en campo y los patrones en las imágenes de alta resolución GeoEye (comprado por Mandy Munro-Stasiuk y compartido con el proyecto Cahuich). Sin embargo, se debe ser cuidadoso en la interpretación de los nuevos canales reportados, ya que algunas partes podrían tratarse de caminos como lo ha señalado Matheny (1976) para el caso de Edzná.

Igualmente, asociando polígonos reportados para los edificios (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012) con la imagen de alta resolución obtenida por Munro-Stasiuk, es posible asociar el área que ocupaban los asentamientos con patrones de la imagen en forma de discontinuidades (i.e. manchas) en tonos claros y rojizos con bordes más o menos rectos y texturas rugosas. Por ello también se tiene un mapa hipotético del área ocupada por los edificios (Figura 6).



Sitio arqueológico y sus técnicas de manejo del agua superficial

- | | | | |
|---------|------------------|-------------------|----------------------|
| Chultún | Canal 1 | Canales inferidos | Edificios reportados |
| Ponora | Canal secundario | Aguadas /dolinas | Área de edificios |

Figura 6. Ubicación de las técnicas de manejo de agua en el área de estudio con información de Anaya Hernández y Faust-Wammack 2012, elaboración propia.

Los canales son obras hechas principalmente para conducir el agua, ya sea como método para distribuir sus excesos o como forma de irrigación (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009); en el sitio parece responder más al primer uso. El alcance de los canales del proyecto Cauich puede llegar a ser de más de dos kilómetros de longitud. En conjunto con las aguadas, forman parte de sistemas complejos de manejo del agua. Son obras duraderas que sirven como método de conducción de los excesos de las aguadas para controlar inundaciones (como se demostrará en las siguientes secciones).

Desde una perspectiva más general, los pozos someros, las aguadas y los canales se sitúan en la parte más plana y baja del relieve, mientras que las sartenejas y los *chultunes* aparecen sobre los conos kársticos. A su vez, los pozos someros forman parte de las aguadas y estas últimas parecen estar asociadas a los canales. Por su parte, los *chultunes* aparecen de forma aislada en los conos, mientras que las sartenejas aparecen en conjuntos sobre rocas calizas expuestas.

En Pich hay un sistema de agua de canales de drenaje y una aguada central de control de inundaciones y almacén de agua. Sin embargo, el manejo que le dan sus pobladores ha perdido la complejidad que tenía de antaño, su uso ha sido relegado a sólo servir como un control ante inundaciones (Faust B. B., 2010). A pesar de ello, la protección de su aguada ha sido central en la organización de la comunidad (Zetina Gutiérrez, 2007; Faust B. B., 2010). Este sistema parece estar construido sobre mantos colgados, denominados también "bolsones de agua", a los cuales se puede acceder mediante pozos someros (Faust B. B., 2010).

Los mantos colgados en sistemas kársticos regularmente se forman por una capa de material semi-permeable, denominada acuitardo, que vuelve demasiado lento el drenaje (Ford & Williams, 2007). Puede existir en varias profundidades a lo largo de toda la zona vadosa, formando una entramado de mantos colgados, lo cual es bastante congruente con el nombre de "bolsones de agua".

Según Faust (2010), la aguada de Pich responde explícitamente a tres demandas: conservar el agua de lluvia eficientemente, captar el agua de zonas aledañas por canales y ser un acceso al bolsón de agua elevada. También se reconoce en varios

comentarios que el agua que rebosa a la aguada escurre por sus canales, evitando así que se desborde. Esto sugiere que también se utilizaba como control de inundaciones, como también se ha visto para las aguadas de otros sitios (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009).

A nivel regional existen registros de sistemas de conducción y almacenamiento del agua para irrigación, para drenaje, para abastecimiento y para control de inundaciones (Matheny, 1976; Puleston, 1977; Scarborough, 1983; Dunning, y otros, 2002; Beach T., y otros, 2009; Luzzadder Beach & Beach, 2009). Uno de los ejemplos más representativos, en este sentido, es el complejo de manejo hídrico de Edzná (Matheny, 1976; Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983; Sharer, 1998).

Edzná se encuentra a 20 km hacia noroeste del sitio de estudio. Dicho complejo arqueológico cuenta con una red de canales de irrigación y drenaje. Alberga uno de los escasos registros de manejo hídrico maya del Pre-clásico y el Clásico (Matheny, 1976; Sharer, 1998; Benavides Castillo, 1997). La zona arqueológica de estudio, así como todas las del valle de Edzná, formaban la parte limítrofe del centro político en Edzná (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983)

5.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y EL CLIMA DE PICH, CAMPECHE

Se obtuvieron promedios mensuales de la temperatura, precipitación y evapotranspiración del sitio para el periodo de entre 1973 y 1998 (Figura 7). De igual forma se obtuvieron los patrones con promedios anuales de temperatura y precipitación para el periodo de entre 1973 y 1998 (Figuras 8 y 9).

Se puede apreciar que existen dos periodos de la interacción entre precipitación y evapotranspiración. Uno es de noviembre a mayo, donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación.

El otro periodo es de junio a octubre donde, a pesar de presentar una importante disminución pluvial durante julio, la precipitación es mayor a la evapotranspiración y concentra a la mayor parte de las lluvias anuales. Este es el periodo húmedo, donde la precipitación brinda más agua que la que se pierde por evapotranspiración (Ward &

Trimble, 2003). Cuando los suelos tienen un buen drenaje este periodo implica un lavado de los mismos, mientras que si su drenaje es malo representa problemas que van desde encharcamientos leves hasta grandes inundaciones por tormentas y huracanes.

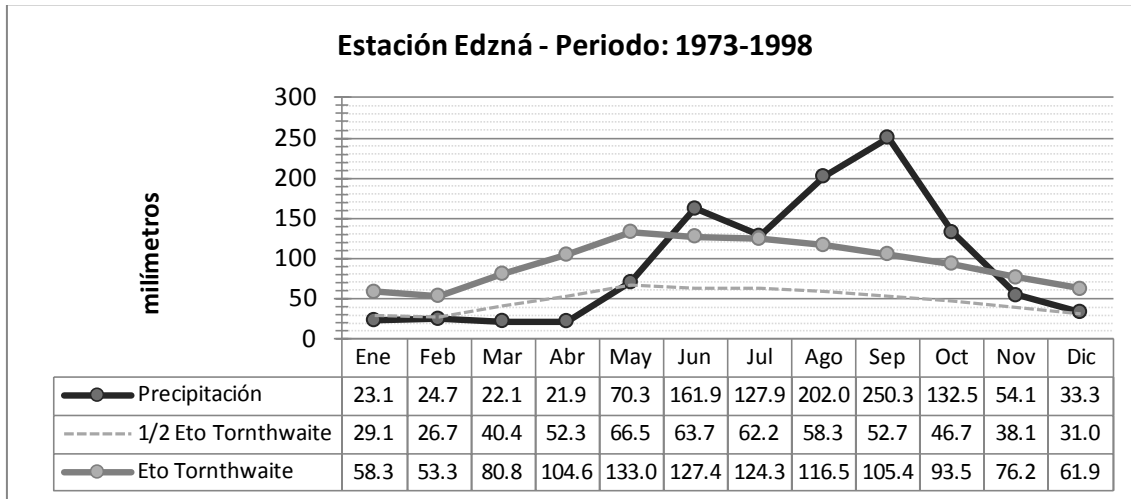


Figura 7. Promedios mensuales de la precipitación y la evapotranspiración potencial (E_t) según el modelo de Thornthwaite.

Por su parte, la temperatura tiene su pico en mayo y junio (Figura 8), el cual es coincidente con el valor máximo de la evapotranspiración. Luego desciende lentamente durante agosto y septiembre, pero a partir de octubre la disminución se vuelve más pronunciada, llegando al periodo más frío entre diciembre y febrero. Finalmente, la temperatura aumenta desde febrero para llegar al pico máximo en mayo.

Con esta nueva información, el tipo de clima de la zona arqueológica se clasificaría como $Aw_1(i')gw''$ (García, 1981), lo cual es ligeramente diferente al clima tipo $Aw_2(i')g$ reportado en una escala menor para la misma área (INEGI, 1985). Esto quiere decir que el sitio hacia finales del s. XX era el intermedio de los subhúmedos, y no el más húmedo de ellos. De la misma manera, esto nos dice que se presenta un corto periodo de baja precipitación durante el verano, además del periodo largo y de baja precipitación durante el invierno. La variación anual de la temperatura media fue de 5.36° , por lo que se sigue considerando un clima de poca oscilación (García, 1981).

De todo esto se infieren dos cosas en términos de necesidades de manejo: existe un periodo donde el agua de lluvia es claramente una necesidad, frente a otro donde el agua es más abundante con una pequeña canícula. El periodo más seco se puede subdividir en dos momentos: uno seco y frío (de noviembre a febrero), frente a otro seco y cálido (de marzo a mayo).

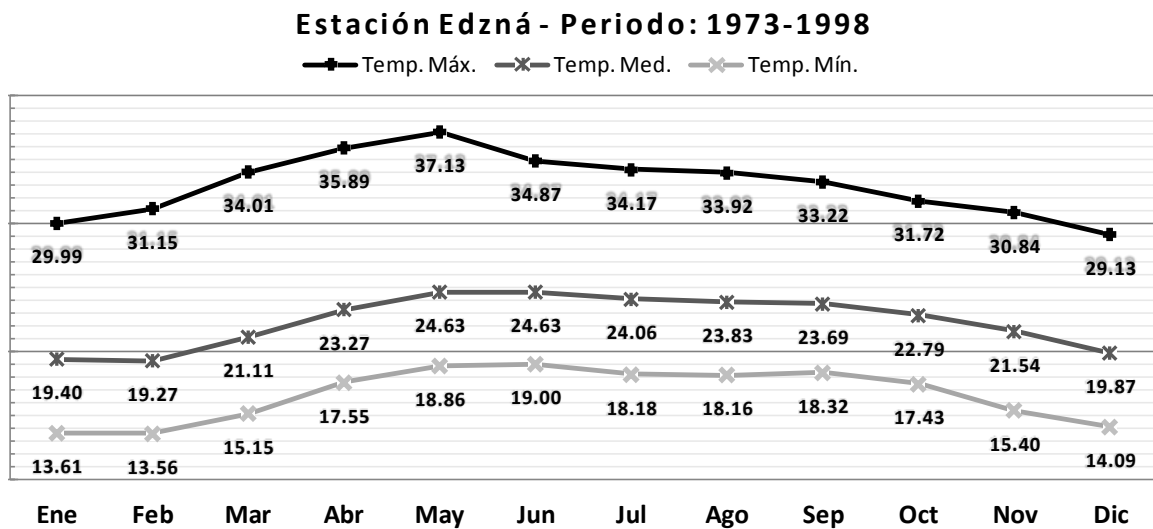


Figura 8. Temperatura mensual promedio (°C).

No obstante la vegetación de las partes bajas no parece ir acorde a la estacionalidad atmosférica ya que, más que caducifolia, es subperennifolia (INEGI, 2002). La mayor parte de las especies no dejan sus hojas como respuesta a la aparente escasez de agua, lo cual sugiere que el suelo puede estar reteniendo agua durante este periodo. De ser así, se explicaría como es que sólo algunas especies de árboles se quedan sin hojas durante los periodos secos.

Tanto la producción de alimentos como el abastecimiento de agua son altamente sensibles al momento seco y cálido del año, si se realizan cultivos durante la época de lluvia y se realizan las cosechas durante la época seca y fría, la necesidad de alimentación podría ser superada. En el mismo sentido, si el agua se captura y almacena durante la época de lluvias, en especial en los meses de agosto y septiembre, se podría utilizar de forma racionada para satisfacer la necesidad de agua, tanto para consumo humano como para potenciales riegos auxiliares.

En contraste a lo anterior, es importante recordar que existe una humedad residual en el suelo de las partes bajas, la cual puede extenderse hasta diciembre (Duch Gary, 1991; Observación personal). Como se ha afirmado, esto explica una vegetación con requerimientos de humedad mayores a lo que ofrece la precipitación y podría favorecer cultivos como los de caña, arroz o palo de campeche. Empero, como se verá posteriormente, en suelos hidromórficos ésto complica el establecimiento de los cultivos tradicionales.

Sin embargo, entender los patrones del presente no es suficiente para aproximarnos a las características del pasado. Esto debido a que los parámetros de temperatura y precipitación no son estables a lo largo del tiempo en la Península de Yucatán (Orellana, Islebe, & Espadas, 2003). Por ejemplo, la temperatura a finales del s. XX disminuyó (Figura 9) al tiempo que la precipitación aumentó (Figura 10).

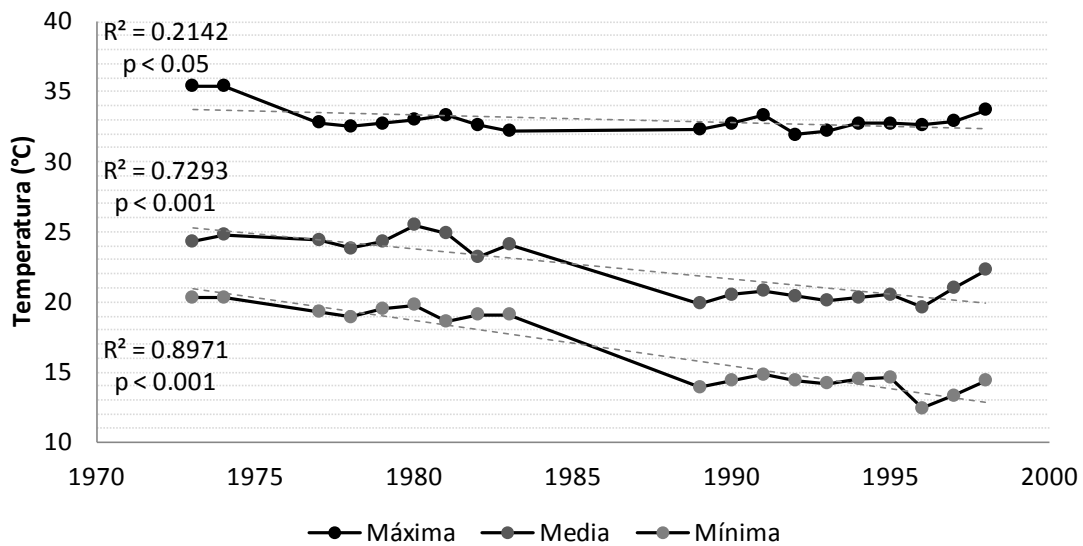


Figura 9. Tendencia de las temperaturas máximas, medias y mínimas de la estación meteorológica Edzná.

Ello implica que, aunque ahora y en un pasado próximo el área ha mantenido un clima Aw_1 , hacia el año 2000 tendía a convertirse en un clima Aw_2 . A fines de 1998 el índice de Lang fue de 50.3, sin embargo, esta relación de precipitación total y temperatura media se vio incrementada por variaciones en cada uno de sus dos parámetros. Si se sobrepasa el valor de 55.3 cambiará la clasificación por humedad de este sitio (García, 1981).

Desde hace siglos, el clima ha tenido, tanto largos periodos de intensa sequía, como periodos de mayor humedad (Orellana, Islebe, & Espadas, 2003). Los periodos de sequía se han llegado a asociar a las crisis mayas del pasado. La transición del periodo clásico al posclásico fue acompañada de un periodo de intensa sequía, así como de un abandono de territorios y migración hacia los márgenes de la península (Henderson, 1981; Orellana, Islebe, & Espadas, 2003; Beach T. , y otros, 2009; Luzzadder Beach, Beach, & Dunning, 2012; Turner II & Sabloff, 2012).

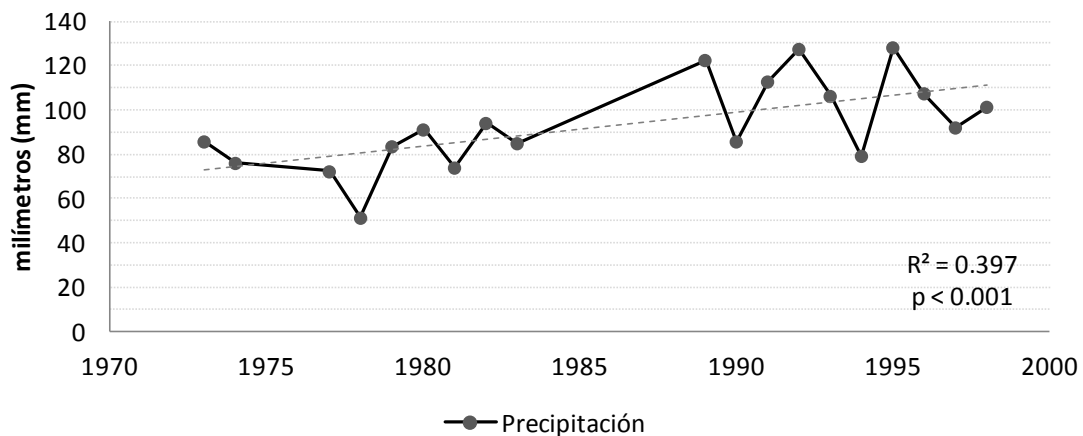


Figura 10. Tendencia del promedio anual de la precipitación en la estación meteorológica Edzná.

También se obtuvo un mapa de los patrones de drenaje superficial y de los interfluvios a escala 1:15 000, así como de las principales geoformas a escala 1:25 000 (Figura 11). Es importante resaltar que los patrones de drenaje son sitios preferentes por donde escurre el agua en época de lluvias antes de infiltrarse.

En campo se corroboró que no existen cauces evidentes y que, más que corrientes claras, lo que se forma cada precipitación son cauces indefinidos que fluyen de conos y laderas a valles según los patrones registrados en el mapa. Por ello, el claro desnivel que se asocia al canal 1 resulta no concordar con las condiciones típicas de escorrentía del sitio, más bien difusas. Igualmente se corroboró que sólo existe en el paisaje un Karst de conos; esto implica que la precipitación no ha sido tan abundante como para formar uno de torrecillas en esta zona de Karst tropical (Gupta, 2011).

En el área no existen corrientes permanentes, sólo algunas corrientes estacionales reportadas por INEGI (1988), por esta razón es que sólo hay valles secos que durante la época lluviosa se pueden convertir en ciénagas. Los conos parecen presentar dos

formas de alineación, una que va de oeste-suroeste con dirección este-noreste en la parte inferior de la Figura 11 y otra que corre del noroeste hacia el sureste flanqueando los poblados de Pich y Quetzal Edzná. Cada una de ambas alineaciones se expresa como un par de hileras de conos que va en el mismo sentido. Es muy probable que se trate de extensiones de las fallas cercanas que INEGI reporta en su mapa geológico (1985).

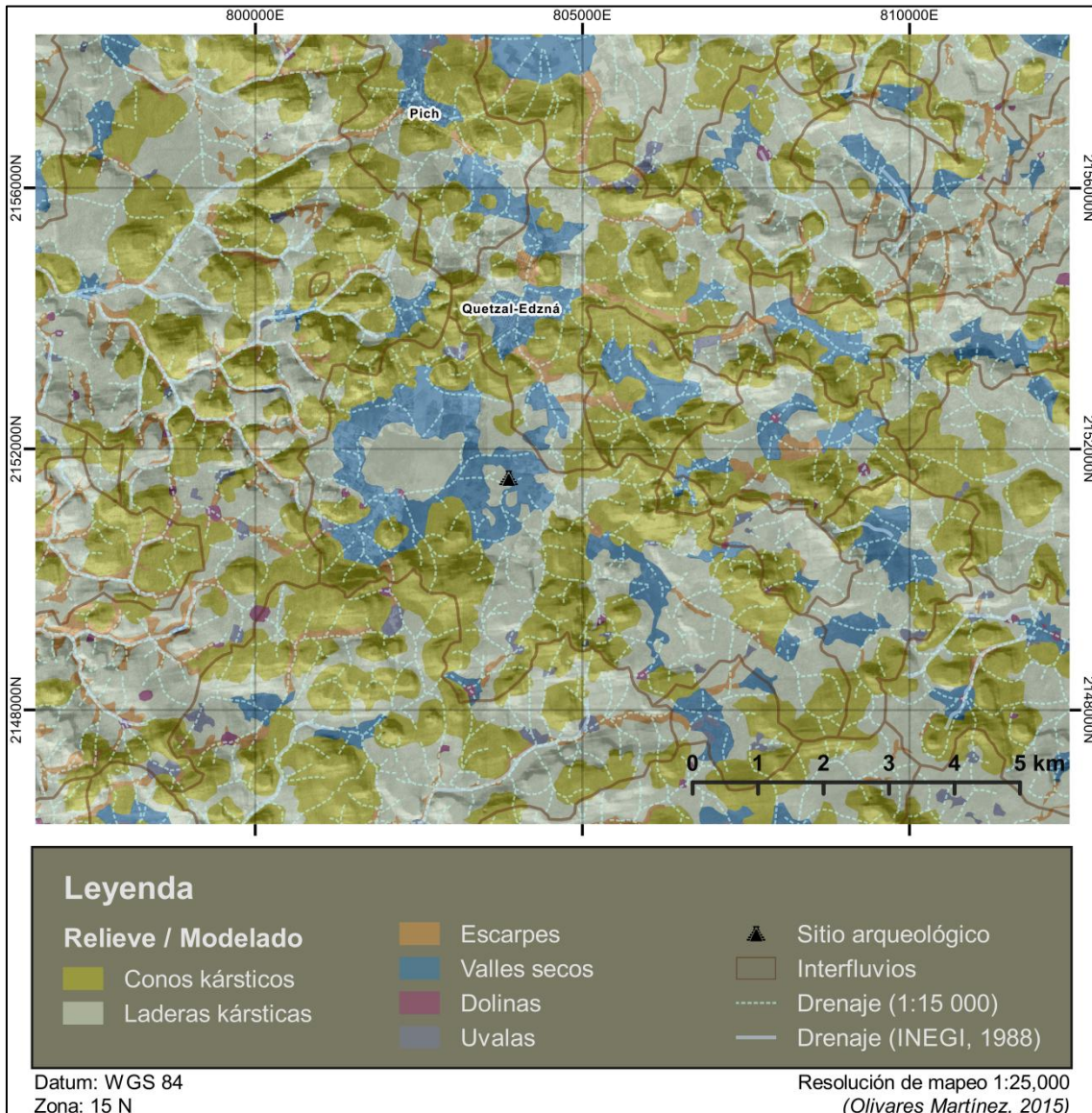


Figura 11. Mapa de drenaje, cuencas y geformas.

Se puede apreciar que el agua tiene un comportamiento que asemeja a un efecto de cubeta en la zona ocupada por los posibles canales y aguadas. El agua fluye de este a oeste y queda atrapada, pues le flanquean hacia el norte, el oeste y el sur los conos cársticos, mientras que al este se encuentra el interfluvio de donde viene el drenaje.

Duch Gary (1991) les denomina cuencas endorreicas por drenaje impedido. Lo anterior propicia que durante cada periodo de lluvias el lugar se inunde. Sin embargo, también es importante resaltar que hacia el oeste se encuentran ubicadas varias dolinas (Figura 12). Estas geoformas facilitan el drenaje y la infiltración hacia estratos más profundos (Ford & Williams, 2007).

Cerca de la base de algunas de las dolinas es posible encontrar ponoras (Figura 12), evidencia de un karst maduro (Ford & Williams, 2007; Lugo Hubp, 2011). Este hecho hace difícil pensar que los canales pudieran tratarse de una forma de lapiaz, como se ha planteado en la zona arqueológica de Edzná como advertencia para no sobreestimar su verdadera cantidad de canales (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983).



Figura 12. A la izquierda, una ponora en forma de cavidad rellena de tierra. A la derecha, vista desde el fondo de una dolina, la cual contiene a la ponora.

El lapiaz una geoforma típica de estadios iniciales en el proceso de karstificación, pero que es sustituida rápidamente por otras conforme el proceso evoluciona (Lugo Hubp, 2011). Es posible encontrarlo en forma de grietas, arroyos o acanalados de disolución (i.e. *solution grikes*, *runnels*, *flutings*, respectivamente), que pueden extenderse por cientos de metros acoplados a fallas, como en las grietas, o a patrones de drenaje, como en arroyos y acanalados (Ford & Williams, 2007). A simple vista, esta condición podría ser confundida con canales, ya que incluso pueden formarse por debajo del suelo. Por ello es conveniente revisar siempre el grado de desarrollo del paisaje geomorfológico.

En el mismo sentido es posible discernir entre una formación natural y una artificial al cotejar la forma y ubicación del posible arroyo, acanalado o grieta de disolución con respecto a la ubicación del patrón de drenaje, de fallas y de contactos geológicos, si no hay concordancia entre dichos patrones, es muy posible que se trate de una modificación humana.

El señor José Alberto Godoy Juárez cuenta que es un hecho conocido por todos los habitantes y trabajadores de ésta zona que cada época de lluvias intensas las ponoras (o *suches*, en lenguaje coloquial) se encuentran tapadas por sedimentos, pero que conforme se empiezan a inundar las partes bajas llega un punto en que le propio peso del agua vence a los azolves y el agua drena de forma vertiginosa hacia el interior de la ponora. Se cree que al interior de la ponora hay un sistema de cavernas donde el agua brota nuevamente cerca de Kikab y Lumná, pueblos ubicados hacia el oriente sobre las partes bajas, donde acaba la zona de lomeríos kársticos.

Existe una alegoría bastante útil para entender el funcionamiento de las dolinas y ponoras para desalojar el agua, si se piensa en un escusado gigante operando, donde la dolina es la taza y la ponora es la entrada a la tubería de desagüe, se podría ver que cada que el agua ejerce suficiente presión al irse acumulando en la dolina, la ponora cederá y vaciará toda el agua del sitio en una peligrosa espiral del agua dadas las magnitudes de este escusado tamaño geofoma. Por el comportamiento que tiene respecto a los sedimentos, es muy probable que se trate de dolinas de expulsión (*dropout dolines*), las cuales son una forma de dolina de sufusión que está en constante azolve y vaciado de dichos residuos (Ford & Williams, 2007).

En campo también se observó que, en las partes bajas, el suelo yace sobre una asociación de lo que podrían ser sílex y caliza; esto en contraste con los conos kársticos, donde es principalmente caliza. Como ya se ha mencionado, es muy probable que las rocas de este ambiente sean del Paleoceno, al estar silicificadas podrían ser parte de la formación Icalché o la indiferenciada de la sierrita de Ticul. En ambos casos, se trata de rocas que no sólo están silicificadas, también son calizas cristalinas dolomitizadas (García Gil & Graniel Castro, 2010).

El material que forma la base de los valles de esta zona es un acuitardo (Duch Gary, 1991), el cual propicia el estancamiento del agua dada su baja conductividad hidráulica. Es por ello que cada época de lluvias habrá un estancamiento del agua, la cual fluirá por el interior del suelo, y a través del relieve, hacia las partes más bajas, donde las dolinas del oeste posibilitarán su percolación a un sistema de drenaje interno debido a su geología kárstica, más activa (Ford & Williams, 2007). Esto revela varias cosas, que este es un sistema de karst muy antiguo donde ya se han disuelto gran parte de las calizas, dejando sólo sus impurezas, y que existe un manto colgado que se forma anualmente en gran parte de la región, pero que en la cuenca principal de la zona arqueológica fluye al oeste para drenarse. Este manto colgado se debe a un epikarst poco permeable formado por suelo arcilloso sobre calizas cristalinas con rocas de naturaleza silíceas (Duch Gary, 1991).

El agua se infiltra principalmente en las zonas más permeables formadas por dolinas y ponoras sobre calizas fracturadas debido a la zona de fallamiento; las dolinas funcionan como un área de recarga de acuíferos, mientras que las ponoras actúan como un acelerador de este proceso cuya función se activa cada que hay una inundación lo suficientemente intensa como para activarlas.

En términos de manejo, dichas características nos muestran que también se debe de lidiar con las lluvias, ya que producen inundaciones en las partes bajas. Su severidad estará relacionada con la presencia de dolinas y ponoras. El agua drena naturalmente a través de estas formaciones, si su capacidad de infiltración se ve rebasada se producirán inundaciones. Es importante tener medidas precautorias ante lluvias severas, tormentas y huracanes, riesgos anuales con los que se puede lidiar drenando espacios importantes, pero también, no saturando las formas que la naturaleza tiene para percolar el agua.

5.3 LOS PROCESOS PEDOGENÉTICOS DENTRO Y ALREDEDOR DEL CANAL 1

5.3.1 DESCRIPCIÓN DE CAMPO

El perfil de suelo en el centro de lo que podría ser el canal 1 se encuentra en un lugar conocido como Rancho Cauich, cerca de la localidad de Quetzal-Edzná, en el municipio de Campeche. Sus coordenadas son 19° 26' 08.99"N y 90° 06' 09.68"O (Datum WGS 84), a una altitud de 124 msnm, con una pendiente de 0-3°.

El material parental es de calizas silicificadas y palustre. Las condiciones climáticas al momento de la descripción fueron nubladas con lluvias recientes. El relieve es simple, con forma horizontal-vertical convexa-convexa, dentro de un paisaje geomorfológico de conos y llanuras kársticas. En términos de drenaje, el sitio es donador y principalmente receptor; el drenaje al interior del perfil es muy pobre. El perfil subyace en una vegetación nativa de selva baja sub-perennifolia y una cultivada de maíz, sorgo y soya.

El suelo al interior del canal 1 presenta una secuencia de horizontes genéticos de tipo Ap-Bticg-Circ/2R, es decir, un horizonte arado seguido de un horizonte con acumulación de arcillas que se expanden y contraen y que presenta motas rojizas con concreciones, y a mayor profundidad un horizonte con condiciones reductoras y con concreciones.

Debajo de estos horizontes existe un contacto lítico con un material con evidentes características reductimórficas, el cual se diferencia fácilmente del suelo por una capa de aproximados 2 cm de manganeso oxidado. A continuación se hace una explicación más detallada de sus características:

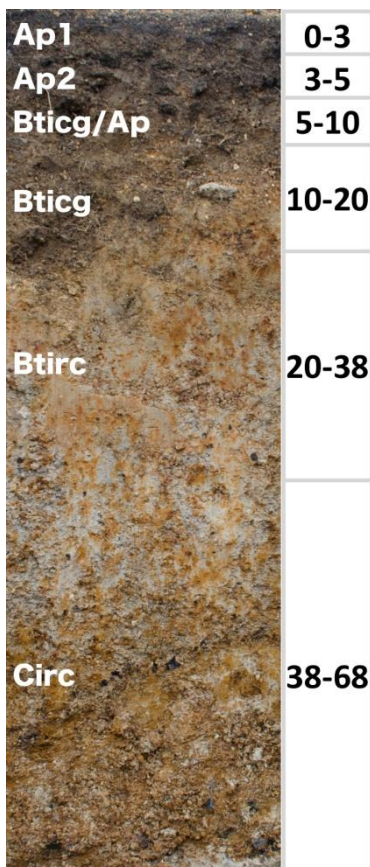


Figura 13. Suelo dentro del canal azolvado 1.

Horizonte Ap1. De 0 a 3 cm. Su color en seco es gris muy oscuro (7.5YR 3/1); su color en húmedo es negro verdoso (10Y 2.5/1); motas muy pocas, medianas negras (N 2.5/0); textura al tacto arcillo limosa; estructura en forma laminar de 1 cm promedio; muy alta estabilidad; poros abundantes, tubulares y finos y muy finos; raíces abundantes de más de dos milímetros y raíces abundantes de menos de dos milímetros; gravas en un 3%; actividad de hormigas como agente de turbación; nula reacción al HCl.

Horizonte Ap2. De 3 a 5 cm. Su color en seco es café olivo (10YR 4/3); su color en húmedo es negro (5Y 2.5/1); motas comunes, finas y medianas, negras (7.5YR 2.5/1 y N 2.5/0); textura al tacto franco arcillosa; estructura en bloques subangulares de 1 cm promedio; mediana estabilidad; poros comunes, tubulares y vesiculares, finos y muy finos; raíces abundantes de más de dos milímetros y raíces abundantes de menos de dos milímetros; gravas en un 10%; actividad de hormigas como agente de turbación; nula reacción al HCl.

Horizonte Bticg/Ap. De 5 a 10 cm. Su color en seco es amarillo (10YR 4/2); su color en húmedo es café grisáceo oscuro (10YR 4/2); motas abundantes, medianas, blancas (N 8/0), rojas (2.5YR 4/6) y negras (N 2.5/0); textura al tacto arcillo limosa; estructura en bloques subangulares de 1.4 cm promedio; baja estabilidad; poros comunes, tubulares y finos y muy finos; pocas raíces de más de dos milímetros y pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 9%; rocas y artefactos en un 2%; nula reacción al HCl.

Horizonte Bticg. De 10 a 20 cm. Su color en seco es amarillo claro (10YR 8/3); su color en húmedo es gris (10YR 4/2); motas comunes, medianas, gris muy oscuro (N 3/0), amarillas (2.5Y 8/6) y rojas oscuras (2.5YR 3/2); textura al tacto arcillo limosa; estructura en bloques subangulares de 1.1 cm promedio; muy baja estabilidad; poros comunes, tubulares y vesiculares y finos y muy finos; pocas raíces de más de dos milímetros y pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 12%; rocas y artefactos en un 5%; nula reacción al HCl.

Horizonte Btirc. De 20 a 38 cm. Su color en seco es blanco (10YR 8/1); su color en húmedo es café oliva claro (2.5YR 5/3); motas comunes, medianas y gruesas, amarillo oliva (10YR 6/8), negro rojizo (2.5YR 3/3) y negro (N 2.5/0); textura al tacto arcillo limosa; estructura en bloques subangulares de 1.2 cm promedio; muy baja estabilidad; poros comunes, tubulares y finos y muy finos; muy pocas raíces de más de dos milímetros y muy pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 13%; nula reacción al HCl.

Horizonte Circ. De 38 a 68 cm. Su color en seco es café rojizo (2.5YR 4/4); su color en húmedo es café oliva (2.5Y 4/4); muchas motas, gruesas y medianas, grises azuladas claras (5PB 8/1), amarillas (10YR 8/6) y negras (N 2.5/0); textura al tacto arcillosa; estructura en bloques subangulares de 1.5 cm promedio; muy baja estabilidad; pocos poros, tubulares y finos; muy pocas raíces de más de dos milímetros y muy pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 15%; nula reacción al HCl.

Horizonte 2R. De más de 68 cm. Contacto lítico. Regolito, principalmente de sílex y silicatos, fuertemente intemperizado por procesos de reducción y oxidación.

Como el sitio actualmente tiene un manejo agrícola que incluye el escarde de la tierra, no es difícil asociar la tierra revuelta de los primeros diez centímetros del suelo a disturbios humanos, es decir un horizonte genético *Ap*. Sin embargo, por cambios en el color y la estructura se subdivide en *Ap1* y *Ap2*. En el tercer horizonte se ven características dominantes de un horizonte genético *B*. Sin embargo, es posible apreciar algunos materiales provenientes del horizonte *Ap*, debidos principalmente a la actividad de hormigas, galerías de animales y arcillas expansibles de horizontes inferiores.

En el tercer horizonte se ven cutanes por movimiento de arcillas (sufijo *t*), así como marcadas condiciones estagnicas. Estas últimas se expresan en concreciones de hierro y manganeso (sufijo *c*) y en abundantes cutanes de reducción y oxidación (los cuales se vieron como revestimientos de con colores blanquecinos o rojizos, según sea el caso). Lo anterior implica que existen condiciones reductoras en el horizonte (sufijo *g*).

En una posterior visita de verificación se constató que existen grietas por arcillas expansibles (sufijo *i*) desde el tercer hasta el sexto horizonte de los suelos ubicados dentro de lo que se cree fue el canal 1.

El cuarto horizonte, al igual que el tercer horizonte, tiene concreciones (sufijo *c*), arcillas expansibles (sufijo *i*), revestimientos de arcillas (sufijo *t*) y condiciones reductoras ligadas al estancamiento del agua (sufijo *g*), pero una matriz fuertemente reducida (sufijo *r*).

En el quinto horizonte se aprecia una matriz fuertemente reducida (sufijo *r*), concreciones asociadas (sufijo *c*), la presencia de cutanes por incremento de arcillas (sufijo *t*) y una estructura en bloques sub-angulares que constata el desarrollo de un horizonte *B*, más que de un *C*.

El sexto horizonte es un *Circ*, pues presenta una estructura muy débil, y además existe una fuerte reducción (sufijo *r*), concreciones (sufijo *c*) y *slickensides* (sufijo *i*).

Las texturas en campo de todos los horizontes muestran al menos un 30% de arcillas según el triángulo textural (FAO, 2009). Este hecho, aunado a que existan

algunos agregados que rompan en forma de cuña y la presencia de algunos cutanes de estrés indican la existencia de propiedades vérticas.

Sin embargo, estas mismas propiedades también se manifiestan en grietas evidentes en el suelo, por la presencia de arcillas expandibles. Cabe destacar que el agrietamiento no fue observado al momento de hacerse la descripción de campo, pero sí en una posterior verificación. Al haber descrito el perfil durante la época de lluvias se debe tener en cuenta que las arcillas estarían en una fase de expansión y, por ello, dichas características se ven enmascaradas (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Porta Casenellas, López Acevedo Reguerín, & Roquero de Laburu, 2003; Brady & Weil, 2007). Con una corroboración en campo durante el periodo de secas se pudieron validar dichas propiedades (véase el Perfil 20 en la figura 23).

Por otra parte, existen materiales naturales que presentan modificaciones hechas por humanos, como desechos de talla (i.e. residuos de la manufactura de puntas de lanza) y algunos fragmentos sueltos de cerámicas. Esto sugiere que cerca, o incluso en el sitio, deben de existir más evidencias de asentamientos humanos (Ayala, Canti, Heathcote, Sidell, & Usai, 2007).

El suelo adyacente al canal 1 presenta una secuencia de horizontes genéticos de tipo Ap-Btc-Crc, es decir, un horizonte arado seguido de uno con una concentración de arcillas expandibles con concreciones rojizas y un último horizonte con condiciones reductoras y concreciones. A continuación se detallan sus características:

El perfil de suelo fuera del posible canal se encuentra 5 m al sur del primer perfil, en la localidad de Rancho Cauich, cerca de Quetzal-Edzná, en el municipio de Campeche. Sus coordenadas son 19° 26' 08.92"N y 90° 06' 09.86"O (Datum WGS 84), a una altitud de 124 m, con una pendiente de 0-3°. El material parental es de calizas silicificadas, con presencia de abundantes cavidades rellenas de sílex.

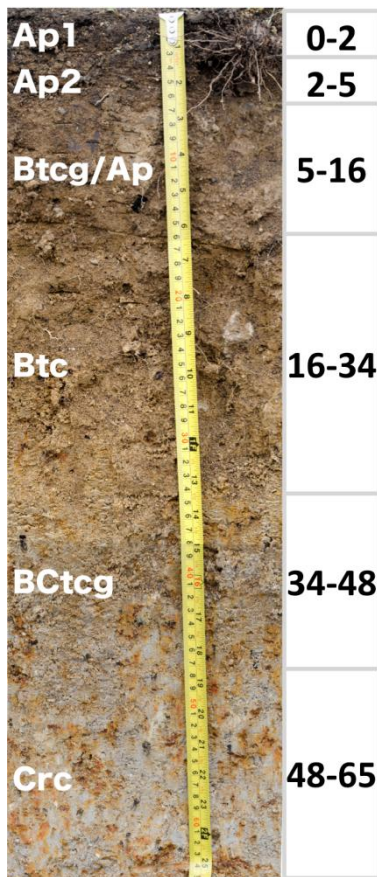


Figura 14. Suelo 5m al sur del canal azolvado 1.

Horizonte Ap1. De 0 a 2 cm. Su color en seco es gris muy oscuro (10YR 3/1); su color en húmedo es negro azulado (5PB 2.5/1); muy pocas motas, gruesas negras (10YR 2/1); textura al tacto arcillo limosa; estructura en forma granular de 1 cm promedio; mediana estabilidad; poros abundantes, tubulares y finos y muy finos; raíces abundantes de más de dos milímetros y raíces abundantes de menos de dos milímetros; gravas en un 3%; actividad de hormigas como agente de turbación; nula reacción al HCl.

Horizonte Ap2. De 2 a 5 cm. Su color en seco es café grisáceo oscuro (5Y 2.5/1); su color en húmedo es negro (5Y 2.5/1); motas ausentes; textura al tacto franco arcillosa; estructura en forma granular de 1 cm promedio; alta estabilidad; poros comunes, tubulares y vesiculares y finos y muy finos; raíces abundantes de más de dos milímetros y raíces abundantes de menos de dos milímetros; gravas en un 12%; actividad de hormigas como agente de turbación; nula reacción al HCl.

Horizonte Btcg/Ap. De 5 a 16 cm. Su color en seco es café olivo (10YR 4/3); su color en húmedo es gris olivo oscuro (5YR 3/2); motas ausentes; textura al tacto arcillo arenosa; estructura en bloques subangulares de 1.4 cm promedio; muy baja estabilidad; pocos poros, tubulares y finos y muy finos; pocas raíces de más de dos milímetros y pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 23%; rocas y artefactos en un 23%; nula reacción al HCl.

Horizonte Btc. De 16 a 34 cm. Su color en seco es café (10YR 5/3); su color en húmedo es gris olivo oscuro (5YR 3/2); muy pocas motas, finas, negro azulado (10B 2.5/1); textura al tacto franco arenosa; estructura en bloques subangulares de 1.1 cm promedio; muy baja estabilidad; poros comunes, tubulares y vesiculares y finos y muy finos; pocas raíces de más de dos milímetros y pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 23%; rocas y artefactos en un 1%; nula reacción al HCl.

Horizonte BCtcg. De 34 a 48 cm. Su color en seco es rojo amarillento (5YR 5/8); su color en húmedo es café amarillento oscuro (10YR4/4); motas gruesas, muy finas y finas, gris azulado claro (10B 8/1), negro azulado (10B 2.5/1), negro (N 2.5/0); textura al tacto arcillosa; estructura en bloques subangulares de 1.2 cm promedio; muy baja estabilidad; pocos poros, tubulares y finos y muy finos; muy pocas raíces de más de dos milímetros y muy pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 11%; nula reacción al HCl.

Horizonte Crc. De 48 a 65 cm. Su color en seco es blanco (N 8/0); su color en húmedo es café amarillento (10YR 5/4); muchas motas, medianas y gruesas, amarillas rojizas (7.5YR 6/8), negras (N 2.5/0) y grises azuladas muy oscuras (10B 3/1); textura al tacto arcillo limosa; estructura en bloques subangulares de 1.5 cm promedio; muy baja estabilidad; muy pocos poros, tubulares y muy finos; muy pocas raíces de más de dos milímetros y muy pocas raíces de menos de dos milímetros; gravas en un 24%; nula reacción al HCl.

Por su alto contenido de materia orgánica, expresado en colores oscuros, así como por su estructura granular, alta concentración de raíces y de actividad biológica los dos primeros horizontes son genéticos *A*. Debido a la alteración por el arado, estos horizontes tienen el sufijo *p*, siendo así, horizontes genéticos *Ap*.

El tercer horizonte presenta una estructura en bloques subangulares, evidencias de argiluviación en revestimientos de arcilla (sufijo *t*) concreciones (sufijo *c*), una coloración más clara aunada a un incremento de arcilla en el siguiente horizonte, lo que sugiere condiciones reductoras por estancamiento (sufijo *g*). Por lo anterior se denomina como horizonte genético *Btcg*. Empero, también parece haber sido mezclado con los horizontes *Ap* de forma casi homogénea por la actividad de hormigas y tuzas, de cualquier forma dominan las características del horizonte *B*.

El cuarto horizonte también presenta una estructura en bloques, así como revestimientos de arcilla (sufijo *t*) y concreciones (sufijo *c*). Este es un horizonte genético *Btc*.

El quinto horizonte tiene una reducción ligada al estancamiento de agua producido por la poca profundidad del suelo y por yacer sobre directamente sobre materiales con condiciones reductoras (sufijo *g*), también presenta concreciones (sufijo *c*). Aunque su baja estabilidad y moderado desarrollo sugieren un horizonte genético *C*, ya presenta estructura en bloques subangulares y argiluviación (sufijo *t*), por lo que también tiene marcadas características de un horizonte *B*. Por ello que se denomina como *BCtcg*.

El sexto horizonte, por la misma capa impermeable, presenta una fuerte reducción (sufijo *r*), así como concreciones (sufijo *c*). Aunado a ello tiene un débil desarrollo con una estructura inestable, por lo que este es un horizonte genético *Crc*.

Este suelo también presenta, a profundidades similares, artefactos líticos a manera de desechos de talla que reflejan una ocupación humana desde tiempos antiguos, posiblemente desde incluso hace más de dos mil años, como se ha visto en las cerámicas que se reportan en el reporte de Anaya y Faust (2012).

A pesar de que su secuencia de horizontes remite fácilmente a pensar en propiedades gléyicas (IUSS Working Group WRB, 2014; FAO, 1998), una revisión cuidadosa de las características propias de un estancamiento de agua más que de un manto freático oscilante. La cara de los agregados es de colores blanquecinos, al tiempo que existen cutanes de oxidación y de reducción en los poros y al interior de los agregados, sin embargo, los que más abundan son poros reducidos y el interior de los pedos es de colores oximórficos, características correspondientes a las propiedades estágnicas (IUSS Working Group WRB, 2014).

El proceso pedogenético que da origen a los Gleysoles es el movimiento ascendente y descendente del manto freático de un acuífero (Buol, F.D., & McCracken, 1990; IUSS Working Group WRB, 2014). En el ambiente físico que ocupa la zona arqueológica del proyecto Cauich, los acuíferos están por debajo de los 200 m (Bautista Zúñiga, Batllori Sampedro, Ortiz Pérez, Palacio Aponte, & Castillo González, 2003); y aunque existen condiciones de inundaciones anuales, estas se deben, más que a un manto freático colgado que asciende y desciende, a un estancamiento de las aguas por un lecho rocoso algo impermeable donde las aguas sólo descienden muy lentamente (como se ha mostrado en el apartado 5.2).

Con base en lo anterior es posible decir que las condiciones reductoras generan propiedades estágnicas más que propiedades gléyicas. Esto tiene importantes implicaciones para el manejo del agua y suelos del sitio, ya que no se esperan efectos del agua subterránea, pero sí de las lluvias extremas.

Por último, en una posterior verificación de campo durante el estiaje se vio que este perfil se encontraba seco, excepto en sus últimos dos horizontes donde estaba fresco. Esto contrasta con las condiciones del suelo al interior del posible canal 1, donde más bien se encontraba húmedo a profundidades similares y fresco en el cuarto horizonte. Independientemente de ser un canal o no, esto nos sugiere que el agua fluye a la zona donde se encuentra el posible canal, dejando drenado todo el suelo a su alrededor.

5.3.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS DENTRO Y FUERA DEL CANAL 1

Del suelo al interior del canal 1 se obtuvieron seis muestras, una por cada horizonte. La misma cantidad se obtuvo para el suelo a 5 m al sur del posible canal 1. Ambos sitios presentan algunas características que favorecen un uso tanto agrícola como urbano, mientras que otras lo limitan severamente. Sin embargo, el segundo perfil muestra características menos limitantes para el establecimiento de cultivos, como se verá a continuación.

La densidad aparente en ambos suelos (Figura 15) es más alta que lo usual para suelos arcillosos y francosos (NOM-021-SEMARNAT-2000; Salgado García, Palma López, Castelán Estrada, Lagunes Espinoza, & Ortiz Laurel, 2013). Es muy suelta en los primeros horizontes, pero se va haciendo más firme hasta terminar con una densidad muy firme en el último horizonte de los dos (FAO, 2009). Esto implica limitaciones importantes para el establecimiento de raíces en el horizonte Crc, pero con limitaciones moderadas de penetrabilidad en sus primeros 38 cm.

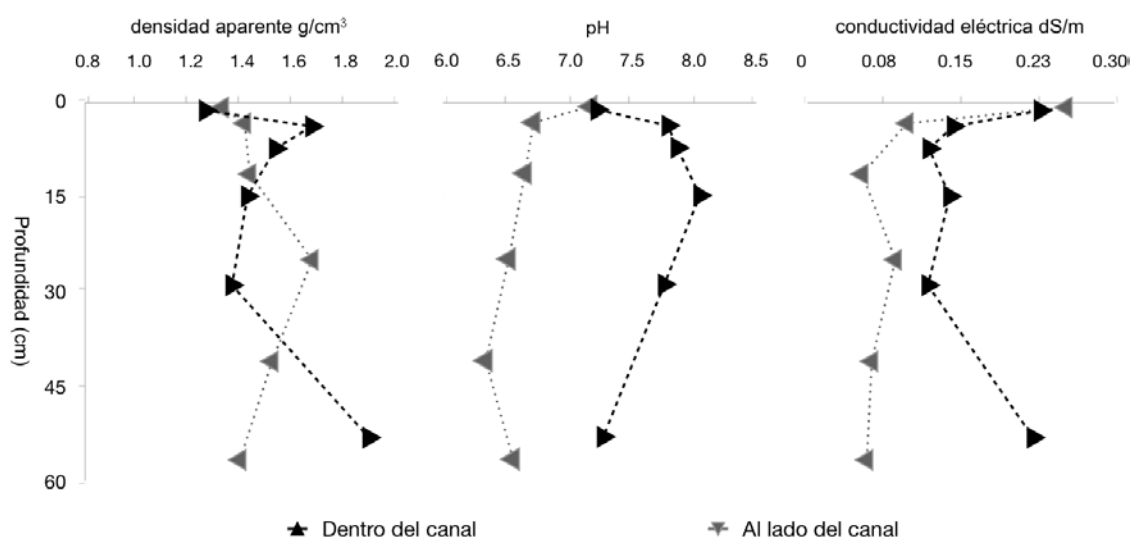


Figura 15. Densidad aparente, potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica.

Existen diferencias marcadas entre la densidad aparente de ambos suelos. El perfil a 5 m fuera del canal presenta mayores limitaciones para la penetración de raíces y para la aireación del perfil, mientras que en el suelo dentro del posible canal existe un cambio abrupto en los primeros 5 cm. En ambos perfiles se aprecia un aumento de la densidad aparente a dicha profundidad, ello podría estar relacionado con efectos de la

actividad agrícola sobre la compactación, sellado y encostramiento de la superficie del suelo (Sojka, 1999; Porta Casenellas, López Acevedo Reguerín, & Roquero de Laburu, 2003; Brady & Weil, 2007).

El pH muestra diferencias marcadas entre los suelos (Figura 15). En el que está en el posible canal va de neutro a medianamente alcalino y en el último horizonte vuelve a ser neutro (NOM-021-SEMARNAT-2000). Éstas disparidades refuerzan la idea de que el material parental del suelo dentro del canal no es residual como en el perfil a 5 m de distancia, sino producto del azolvamiento en el posible canal; un azolve transformado en suelo.

La conductividad eléctrica de ambos suelos mantiene valores muy bajos a lo largo de todo el perfil (Figura 15), lo cual resulta benéfico para establecer cultivos pues no existen limitaciones por exceso de sales y es entendible en una zona con buena precipitación, que provoca el movimiento de las sales al manto freático (Aceves, 2011).

La capacidad de intercambio catiónico también presenta marcadas diferencias entre los suelos (Figura 16). Dentro del posible canal muestra varias discontinuidades en sus primeros tres horizontes; esto puede reflejar un posible azolvamiento, aunque también podría estar influenciado por la bioturbación de hormigas (véase la descripción de la Figura 13). De cualquier forma, si las hormigas fueran el factor responsable de la bioturbación, debería existir un patrón similar en los suelos fuera del posible canal, cosa que no sucede. La idea del origen palustre cobra más fuerza, y con ella, la de que sí existió un canal donde sus azolves son el suelo que ahora vemos.

La saturación de bases también refleja una importante discontinuidad en los primeros cinco centímetros de ambos suelos. Este tipo de discontinuidades podría estar relacionado con labores de fertilización (Sánchez, Couto, & Buol, 1982). Las labores agrícolas del área refuerzan esta posibilidad, se observó que hay un uso intensivo y poco planificado de agroquímicos.

Al depender de la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases también puede mostrar patrones diferentes si es que existen arcillas diferentes en cada suelo. Esta parece ser la razón detrás de la marcada diferencia entre ambos

suelos, ya que el contenido de cationes es similar, e incluso, hay una mayor concentración de calcio en el suelo dentro del posible canal (véase el Cuadro 3).

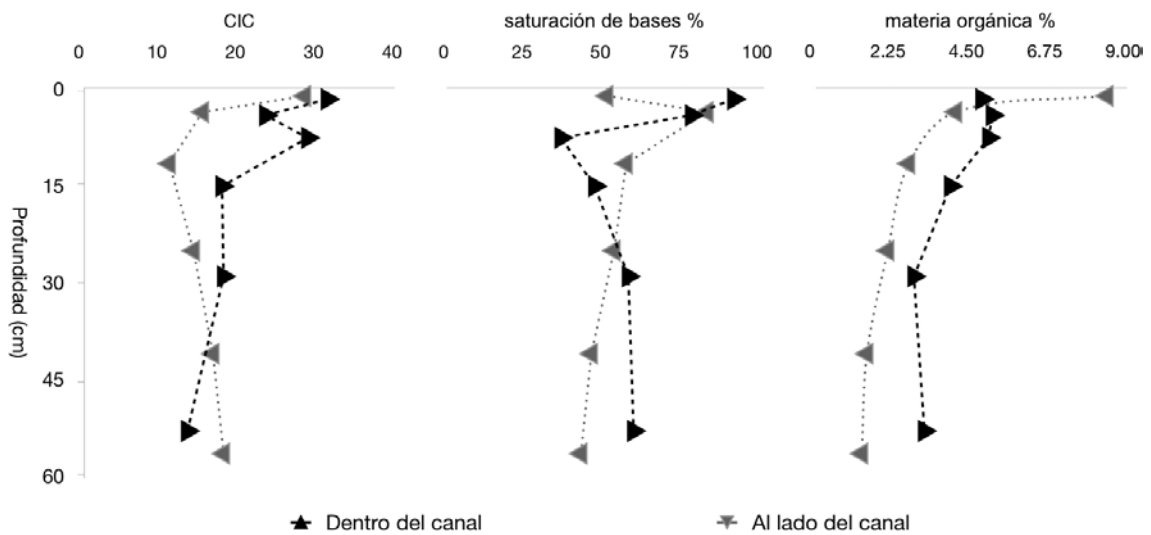


Figura 16. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases y materia orgánica.

Las concentraciones de sodio y potasio son similares entre ambos perfiles, al contrario que las de calcio y magnesio (Cuadro 3). El potasio es un elemento que presenta valores muy bajos en los últimos tres horizontes, y en los primeros tres decrece con la profundidad de alto a bajo. El sodio presenta concentraciones muy bajas respecto al total de bases intercambiables, lo cual es favorable para el establecimiento de vegetación, ya que no hay problemas por sodicidad. Empero, todo ello sugiere a la vez que existe una lixiviación de bases en las partes bajas.

En general y en profundidades similares, las concentraciones de calcio y magnesio son mayores dentro del posible canal. Esto sugiere que los suelos dentro del posible canal estarían originados de aportes desde las calizas de las partes más altas, donde el agua de escorrentía se enriquecería de estas bases conforme descienda. Por otro lado, en el suelo 5 m al sur fuera del posible canal parece existir una discontinuidad entre el tercer y cuarto horizonte, tanto para la concentración de calcio como de magnesio.

La alta concentración de potasio de los horizontes superiores puede asociarse con labores de fertilización y de quema (Dumond, 1961; Mariaca Méndez, 1993; Certini, 2005; Celedón Muñiz, 2006). En el sitio de estudio se observó que ambas son prácticas recurrentes cada año.

El contenido de fósforo asimilable es muy bajo en los dos perfiles (Cuadro 3), lo cual representa junto con el potasio una clara deficiencia para el establecimiento de cultivos. Este elemento es poco móvil, su deficiencia se puede deber a un material parental pobre en fósforo, así como a la formación de fosfatos insolubles de calcio, los cuales impiden detectarlos al determinar fósforo extraíble. De cualquier forma, esta condición es común en los suelos de toda esta región con problemas de drenaje (Bautista Zuñiga, y otros, 2010; Palma López, y otros, 2012).

Cuadro 3. Bases Intercambiables y fósforo extractable.

	Horizonte	Profundidad (cm)	ppm		cmol/kg		
			P	Na	K	Ca	Mg
Dentro del posible canal 1	Ap1	0 - 3	0.333	0.35	1.17	23.54	3.23
	Ap2	3 - 5	0.011	0.33	0.54	15.13	2.00
	Bticg/Ap	5 - 10	0.006	0.26	0.22	8.97	0.81
	Bticg	10 - 20	0.006	0.35	0.19	7.32	0.37
	Bctirc	20 - 38	0.006	0.39	0.17	9.00	0.68
	Circ	38 - 68	0.005	0.70	0.09	6.31	0.72
5 m al sur del posible canal 1	Ap1	0 - 2	0.005	0.26	1.30	10.17	2.52
	Ap2	2 - 5	0.003	0.31	0.60	9.21	2.40
	Btcg/Ap	5 - 16	0.002	0.31	0.13	4.81	0.95
	Btc	16 - 34	0.005	0.35	0.10	5.65	1.30
	Bctcg	34 - 48	0.003	0.37	0.09	5.50	1.56
	Crc	48 - 65	0.006	0.46	0.09	5.26	1.73

Se indica de color si la concentración es muy baja (rojo), baja (naranja), mediana (amarillo) o alta (verde) según los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000.

La materia orgánica presenta claras diferencias entre ambos suelos. Dentro del posible canal es alta en los primeros cuatro horizontes del perfil, pero en los últimos dos horizontes adquiere valores medios. Por su parte, el otro suelo presenta valores que decrecen abruptamente de muy altos a muy bajos (Jobbágy & Jackson, 2000).

La distribución de materia orgánica podría estar vinculada con las condiciones de saturación de humedad al interior del posible canal y a los aportes de materia que explican las concentraciones de Ca y Mg. La actividad biológica, que oxida y volatiliza los compuestos orgánicos, disminuye al predominar las condiciones reductoras (Brady & Weil, 2007; Ortiz Solorio, 2010), así se favorece su concentración mediana y alta en todo el perfil. Igualmente las propiedades vérticas de los azolves también ayudan a

entender los valores altos de materia orgánica (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Porta Casenellas, López Acevedo Reguerín, & Roquero de Laburu, 2003; Ortiz Solorio, 2010).

Los contenidos de materia orgánica del suelo fuera del posible canal no presentan alteraciones por el hidromorfismo, lo cual sugiere que existe un mayor drenaje. Esta afirmación da sustento a la idea del canal como regulador de inundaciones o como dren para los cultivos.

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente sólo presentan valores altos en el primer horizonte de los dos suelos (Figura 17). Ello podría estar relacionado con el alto contenido de materia orgánica de los horizontes A y con su mejor agregación, la cual proporciona una mayor retención de humedad a los suelos (Buol, F.D., & McCracken, 1990). El patrón de la capacidad de campo a lo largo de los horizontes es similar en ambos suelos, aunque al interior del posible canal los valores son ligeramente menores.

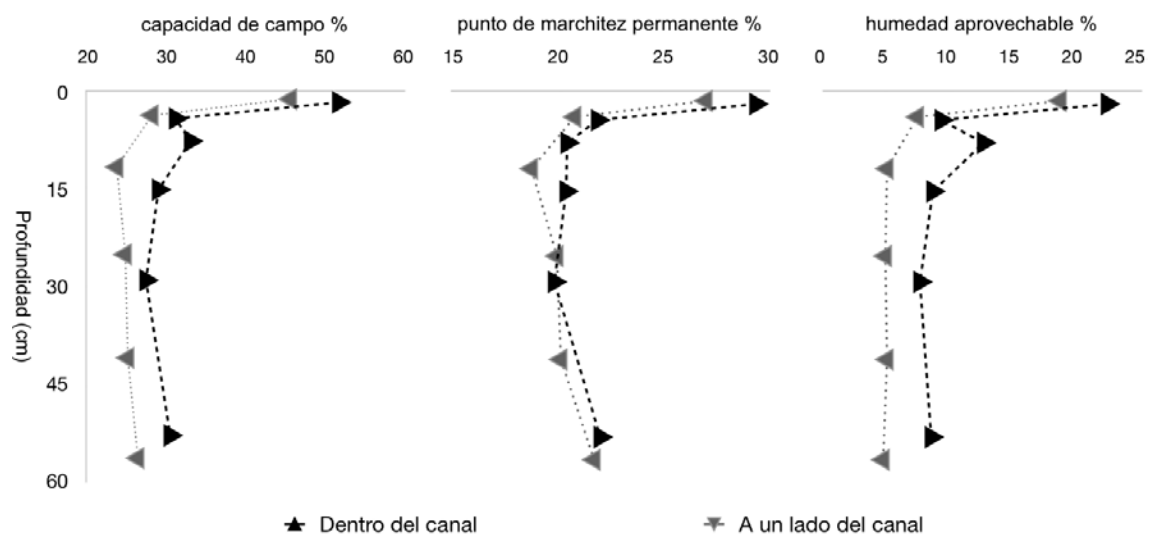


Figura 17. Análisis de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y de humedad aprovechable.

Por su parte, el punto de marchitez permanente muestra un patrón similar entre ambos suelos. Al principio es alto, luego disminuye, pero en los horizontes más profundos vuelve a aumentar ligeramente. Este aumento podría estar más relacionado con el propio aumento de las arcillas identificado en campo (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Brady & Weil, 2007).

En cuanto a la humedad aprovechable, existe una diferencia de casi 5% entre los suelos, esto podría ser poco, sin embargo, esta diferencia representa que dentro del posible canal hay casi el doble de humedad aprovechable en comparación con los suelos a sus alrededores.

Aunque la capacidad de campo nos podría hacer pensar que las condiciones son óptimas para el establecimiento de la vegetación, el punto de marchitez es alto, cosa común en suelos arcillosos (Brady N. C., 1984; Zotarelli, Dukes, & Morgan, 2013). Es por ello que la humedad aprovechable resulta baja para este tipo de suelos. Algunas plantas tendrán limitaciones por humedad, aún en la época de lluvias. Esto es un aspecto bastante curioso para estos suelos caracterizados por el hidromorfismo. Por otro lado, y aunque para el crecimiento de las plantas resulte negativo un alto punto de marchitez permanente, para los microorganismos puede ser la principal fuente de agua durante toda su vida, lo cual favorecería las reacciones micro-biológicas (Brady N. C., 1984).

La textura de muestra perfiles arcillosos (Figura 18). También se observa un ligero aumento de arcillas conforme aumenta la profundidad, lo cual puede estar ligado con procesos de argiluvación y de argiloturbación (Porta Casenellas, López Acevedo Reguerín, & Roquero de Laburu, 2003). En cuanto a los limos se observa que, comparativamente entre ambos suelos, existe una mayor concentración al interior del posible canal, lo cual refuerza la lógica del azolvamiento. Por su parte, el contenido de arena del perfil fuera del canal presenta un ligero aumento en los últimos horizontes, lo cual es normal para horizontes C, por tener un material parental saprolítico (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Ortiz Solorio, 2010).

En términos de susceptibilidad magnética, se observan claras diferencias entre ambos perfiles, en especial con la susceptibilidad dependiente de la frecuencia (Figura 19). Comparativamente a profundidades similares, dentro del canal es mayor la susceptibilidad magnética. En ambos perfiles existieron valores bajos como consecuencia de la transformación de los minerales ferrimagnéticos con Fe III a Fe II, lo cual es consistente con otros estudios para suelos afectados con procesos de

oxidación-reducción (Dearing, 1999; Hanesch & Scholger, 2005; Bautista, Cejudo Ruiz, Aguilar Reyes, & Gogichaishvili, 2014).

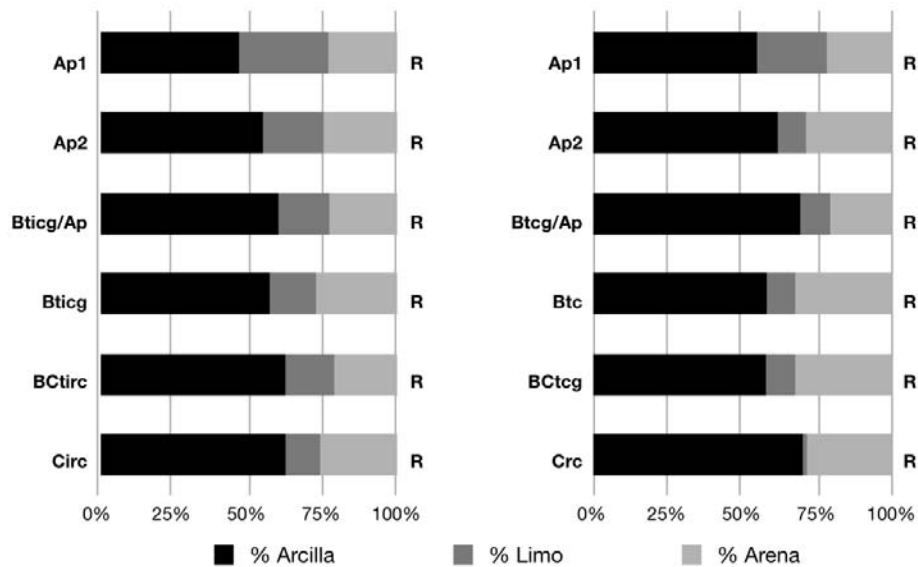


Figura 18. Granulometría (textura) con clases texturales abreviadas (arcillosa, R, en todos los casos) del perfil descrito dentro de lo que se cree fue el canal prehispánico 1 (a la izquierda) y el suelo 5m al sur (a la derecha).

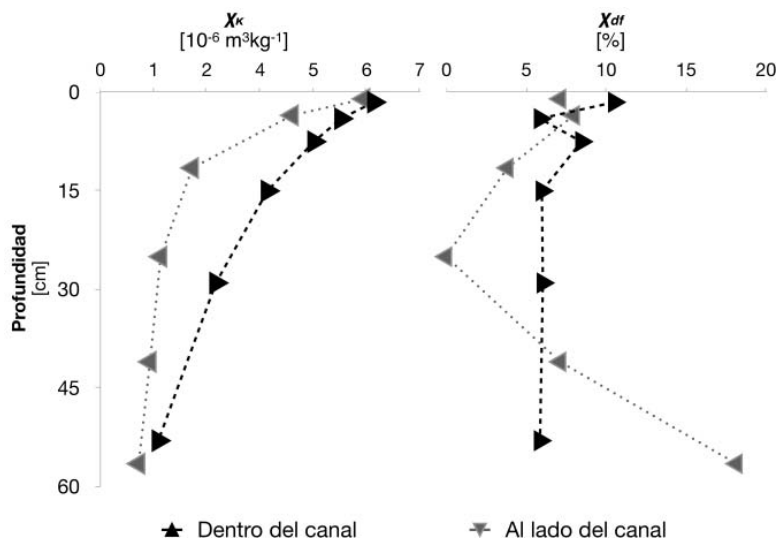


Figura 19. Susceptibilidad magnética dependiente de la frecuencia (χ_{df}) y específica de masa (χ_k).

En una posterior visita a campo, también se observó que en las aguadas que ahora están azolvadas existen marcadas propiedades vérticas (Figura 20); parece ser que dichas propiedades están vinculadas al proceso edáfico de acumulación. Esta característica resulta entonces crucial en la delimitación del canal, cuyo interior tiene propiedades vérticas, contrario al suelo aledaño, que carece de éstas. También se observaron costras superficiales, las cuales se pueden originar por el proceso de

sedimentación de los azolves ligado al de expansión y contracción de las arcillas (Brady N. C., 1984; Poch, Jacovella, & Usón, 1997).



Figura 20. Aguada azolvada. Nótese como las propiedades vérticas en el azolve delimitan su forma.

Mediante el análisis de los distintos parámetros físicos, químicos y magnéticos resulta evidente que hay diferencias contrastantes entre ambos perfiles. También fueron sugeridas diferencias en cuanto a su material parental, lo cual resulta una opción bastante congruente ahora. Por ello es posible justificar que existe un suelo formado dentro del canal con un origen principalmente de acumulación. Rodeando ese suelo se encuentra otro, el cual ya estaba formado desde antes del azolve. Es de esperarse que, en el caso de hacerse estudios de datación de suelos, con el suelo fuera del canal se conozca la antigüedad del sitio y con los del canal se conozcan los distintos eventos de azolvamiento, los cuales podrían relacionarse a épocas de abandono posteriores a eventos de ocupación del sitio.

5.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DENTRO Y FUERA DE LOS CANALES

En concordancia con las imágenes aéreas de la zona que permitieron inferir la existencia de los canales a partir de los patrones de vegetación (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012), el grado de humedad es mayor en los suelos formados dentro del canal. Allí se presentan propiedades estagnicas mucho más evidentes en los agregados a profundidades menores en comparación con el suelo formado unos metros fuera del mismo (*véanse* las Figuras 13 y 14).

En otras partes de la península, los suelos se forman aún encima de calizas, que tienen mejor conductividad hidráulica dada su porosidad primaria y secundaria (Ford &

Williams, 2007). Sin embargo, en estos suelos, los materiales que subyacen el suelo son residuos de calizas que tienen una conductividad hidráulica muy baja que se forma un acuífero colgado y el agua drena lentamente hacia zonas de mejor infiltración. Este análisis del sitio y sus suelos coincide y sustenta los comentarios de los agricultores locales, que este terreno sufre de inundación durante años de mucha lluvia (Faust, 2010; José Alberto Godoy Juárez, comunicación personal).

Es menester no olvidar que la materia orgánica es una estimación a partir de los valores de carbono orgánico, los cuales son útiles en términos de clasificación de suelos. El factor por el que se multiplica el porcentaje de carbono orgánico es de 1.724, entonces, el suelo dentro del canal tiene concentraciones mayores a 1.8% a lo largo de todo su perfil, mientras que en los dos últimos horizontes del otro perfil (casi la mitad del espesor total) no alcanza siquiera el 1%.

Por otra parte, se ha mostrado que las propiedades estágnicas inician por debajo de los horizontes superficiales y ello se puede deber al enmascaramiento dado por la materia orgánica de los horizontes Ap, la cual es alta en ambos suelos. Es importante no olvidar que el drenaje está impedido por el efecto conjunto del regolito que se comporta a manera de acuitardo y de la presencia de costras superficiales.

Basándonos en las propiedades ya analizadas se tendrían las siguientes clasificaciones, según la WRB 2014, para los suelos dentro de los canales y para el resto del área de estudio en las partes bajas:

Suelos formados en los canales: Endoleptic **Vertisol** (Humic, Mesotrophic, Stagnic)

Otros suelos en las partes bajas: Endoleptic **Stagnosol** (Capillaric)

La clasificación de los suelos dentro de los canales refleja que existen marcadas propiedades vérticas (Vertisol), que es un suelo de entre 50 y 100 cm de grosor (Endoleptic), que tiene un contenido de carbono orgánico mayor a 1% en el primer metro (Humic), que tiene una saturación de bases menor a 75% a 20 cm (Mesotrophic), en el perfil es de 47%, algo baja tratándose de Vertisoles y que tiene propiedades estágnicas en más del 25% en una capa mayor a 25 cm (Stagnic).

A pesar de su evidente presencia y de su relevancia para el manejo, el calificador Stagnic fue desplazado de su carácter como calificador principal a ser uno secundario, de la versión 2006 a 2014 de la WRB (en ambas versiones ya existía el grupo Stagnosol). En la arquitectura de la WRB, los calificadores principales han servido como las formas más importantes de profundizar en las propiedades de un determinado grupo de suelo (IUSS Working Group WRB, 2010; IUSS Working Group WRB, 2014). Los calificadores ligados al hidromorfismo no sólo son importantes por su evidencia morfológica dentro del perfil, sino que en términos de manejo y aprovechamiento del recurso suelo resultan de gran relevancia y no se deben demeritar. Además, para fines de cartografía son características que se observan asociadas con la posición del perfil en el relieve y con su hidrogeología (Duch Gary, 1991). Por ello, sería conveniente para el sistema de clasificación de suelos WRB que los calificadores relacionados al hidromorfismo de los suelos sean primarios, no sólo en Vertisols, sino en todos los grupos donde aún no lo son.

Las propiedades estágnicas son una de las características más evidentes de los suelos del sitio. Por ello no es extraño que el agua y sus efectos sobre el territorio sean de los factores más importantes, no sólo en la región, sino en general para el desarrollo de las civilizaciones mesoamericanas (Rojas Rabiela, Martínez, & Murillo, 2009; Faust B. B., 2010).

Por su parte, fuera de los canales existen elevadas concentraciones de arcillas en horizontes subsuperficiales, de entre 58 y 70%, las cuales tienen profundidades mayores a 50 cm, pero menores a 100 cm (Endoleptic) y menos de 5% de la matriz del suelo ocupada macroporos –lo cual se relaciona con las condiciones reductoras– (Capillaric).

Dado que no existen recomendaciones de manejo específicas para los calificadores por separado, conviene revisar los criterios de manejo del grupo Stagnosol, puesto que, de no ser por las propiedades vérticas, todos los suelos de las partes bajas se clasificarían dentro de ese grupo; además de ser el agua estancada uno de los factores de manejo más importantes de las partes bajas.

A pesar de que el concepto de propiedades estagnicas surge con la misma WRB (FAO, 1998), los Stagnosoles son un grupo de suelos de referencia muy recientes, se incluyeron en la *World Reference Base for Soil Resources* (2007). Surgen para diferenciar los suelos con aguas estancadas de los que tienen agua freática. Su nombre proviene del latín *stagnare*, que significa inundar (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007; IUSS Working Group WRB, 2014). Por la misma razón, de su reciente surgimiento, no existen muchos trabajos ni descripciones disponibles para este grupo de suelos.

En la WRB 2014 se puede observar que los Stagnosols tienen grandes dificultades para un manejo agrícola (v.g. maíz, frijol, calabaza). Si se pretende tener un suelo fértil, no sólo requiere del drenado de sus aguas, sino que requiere de una labranza a profundidades mayores. Este grupo de suelos puede llegar a estar muy seco para la producción vegetal en la segunda mitad de la temporada seca. Es fundamental un manejo hidráulico y de labranza que permita darle más oxígeno a las raíces sin perder una humedad relativamente constante a lo largo del año.

Por último, es importante destacar que la consideración de Stagnosols en lugar de Gleysols es válida, no sólo para el elemento de modelado geomorfológico del sitio de estudio. Zonas como los llamados lomeríos altos con llanuras y las llanuras inundables con lomeríos bajos tienen características fisiográficas, hidrogeológicas y edafológicas tan similares que es necesario volver a interpretarlas (Duch Gary, 1991), pues es muy probable que sus Gleysols se traten, en realidad, de Stagnosols.

5.4 USOS DE LA TIERRA EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA

5.4.1 VERIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE SUELOS

Del recorrido de campo resultaron descripciones y clasificaciones de 12 perfiles (Cuadro 4 y Apéndice 1, perfiles del 14 al 25), cuatro de ellos dentro de una trinchera realizada por el equipo de investigación del sitio.

De acuerdo con la clasificación de los perfiles identificados en la trinchera, sólo los dos del centro coinciden con la clasificación del interior del canal 1 (*perfiles 20, 21, 22 y 23* en el Cuadro 4, la Figura 21 y el Apéndice 1). Originalmente no se habían

identificado las propiedades vérticas en campo, ya que había descrito el perfil en temporada de lluvias (Figura 13). Sin embargo, esto es evidente ahora que se describe el perfil del canal 1 en época de estiaje (Figura 23). Igualmente, existe una alta actividad biológica que tiene potencial edafoturbador, no sólo ligada a hormigas, sino también a roedores pequeños (tuzas), los cuales construyen galerías subterráneas.

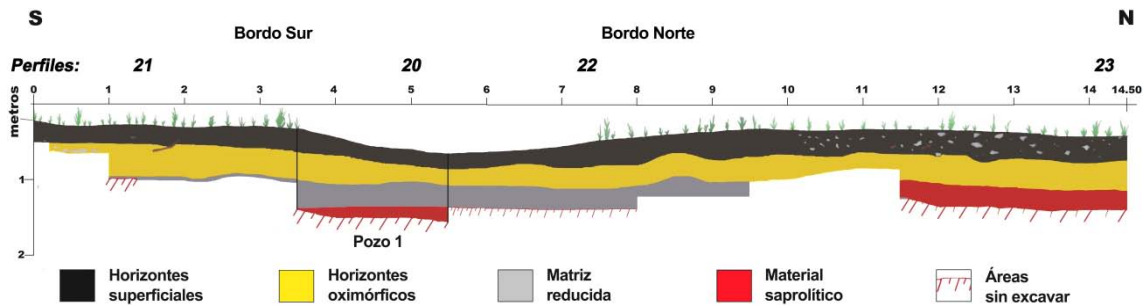


Figura 21. Diagrama de la trinchera hecha al canal 1 y los puntos de descripción en campo (Modificada, original cortesía de la Arqueol. Mirza Lira Chim).

Otra característica no registrada con anterioridad, pero vista en los perfiles 20 y 22 es la presencia de materiales límnicos en varias partes del canal 1. Estos consisten en caracoles, mejor conocidos como *jute* (Figura 22), lo cual coincide con otros indicios típicos de canales azolvados y ciénagas (Scarborough, 1983; Healy, Emery, & Wright, 1990; Weiss Krejci & Sabbas, 2002; Beach T. , y otros, 2009).



Figura 22. Fotografía de caracol (*jute*) en los primeros centímetros del suelo, al centro del canal azolvado 1.

Al no haberse visto ninguna de las características anteriores en los perfiles 21 y 23 es posible inferir que el canal 1 debe de tener una amplitud similar a la distancia entre dichos perfiles, la cual es menor de dos metros. Esta inferencia no es trivial ya que las

propiedades vérticas se pierden de forma gradual a lo largo de la trinchera. Además de que las condiciones reductoras afectan al suelo de la región y complican la identificación de canales mediante el color del azolve, aspecto que ha dado claridad en otros trabajos de la península (Dunning, y otros, 2002; Weiss Krejci & Sabbas, 2002; Beach T. , y otros, 2009).

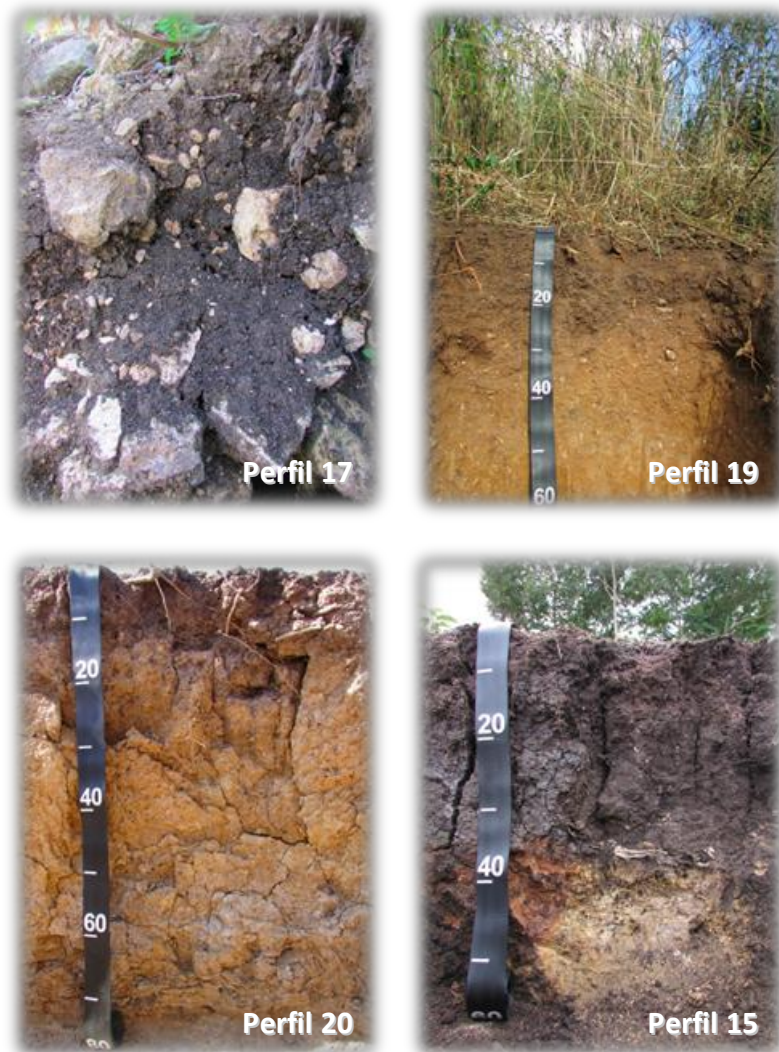


Figura 23. Algunos de los suelos vistos en las geoformas: Phaeozem (perfil 17) de los conos kársticos, Stagnosol (perfil 19) y Vertisol (perfil 20) sobre los valles secos y Vertisol (perfil 15) en los fondos de dolinas.

En cuanto a la profundidad del canal 1, parece ser una controversia establecer de manera concluyente su profundidad. Existe quien sostiene que tiene una profundidad de no más de 20 cm, así como quien afirma que la profundidad es de hasta 1 m. Cabe explicar cada una de estas posturas brevemente para dar sentido a lo observado en campo.

El primer postulado sostiene que actualmente el canal 1 no tiene más de 25 cm de profundidad debido a observaciones directas sobre la trinchera hecha al canal 1, justo cuando estaba recién excavada (en julio del 2014). Estas observaciones iban ligadas al patrón visto en el color y forma del horizonte A, donde se veía un claro desnivel en la parte media del canal 1 (Betty B. Faust, comunicación personal).

El segundo apunta, de forma indirecta, a que el canal 1 tiene una profundidad de 50 a 100 cm. Esto se basa en estudios de reflejo de ondas electromagnéticas mediante el equipo GPR, el cuál detecta de forma no invasiva cambios en las densidades o en la conductividad de materiales dentro de un perfil.

Ambas posturas son coherentes desde su propio punto de vista. Una identifica directamente sobre el canal 1 un material claramente distinto al resto, el cual se asocia con el canal 1; la otra aprovecha las características inherentes de los materiales, que tendrán diferencias en su respuesta a las ondas electromagnéticas de existir un azolve de nuevos materiales sobre un suelo pre-existente.

Sin embargo, también tienen limitantes. En el postulado de los 50 a 100 cm no existe, en la mayor parte de los casos, una corrección por la topografía, ello resta de exactitud a los resultados, a pesar de su alta precisión. Por su parte, el de 25 cm basa sus inferencias en el color, parámetro que se ha visto relegado en un medio con agua estancada, donde las condiciones reductoras propician un alto intemperismo, el cual altera los patrones de colores del suelo y complica la identificación de características de tiempos pasados (Chesworth, 2008; Lindbo, Scolt, & Vepraskas, 2010).

En campo se observaron propiedades vérticas y bioturbación por hormigas y mamíferos. En particular la bioturbación de mamíferos es ocasionada por *tuzas* que construyen galerías para sus madrigueras, algunas de las cuales pueden colapsar. Es probable que el desnivel identificado en el horizonte A sea ocasionado por estas características, donde algún colapso azolvado se confunda con un canal somero. Incluso gran parte de los canales reportados para las tierras bajas del norte tienen profundidades más cercanas al metro que a los 25 cm (Matheny, 1976; Puleston, 1977; Scarborough, 1983; Dunning, y otros, 2002; Beach T. , y otros, 2009; Luzzadder Beach & Beach, 2009).

Cuadro 4. Clasificación de los perfiles verificados en campo y los recopilados en literatura previa.

	Latitud	Longitud	Clasificación original	Clasificación WRB 2014	Modelado kárstico
1 ¹	19° 31' 51.60"	90° 01' 01.45"	Mollic Nitisol (Rhodic) ^a	Mollic Rhodic Nitisol	Ladera kárstica
2 ¹	19° 28' 45.37"	90° 03' 50.26"	Rendzic Leptosol (Humic) ^a	Rendzic Leptosol (Clayic, Humic)	Cono kárstico
3 ²	19° 26' 06.58"	90° 05' 54.42"	Rendzic Leptosol ^a	Rendzic Leptosol	Ladera kárstica
4 ²	19° 26' 13.31"	90° 06' 02.27"	Rendzic Leptosol ^a	Rendzic Leptosol	Ladera kárstica
5 ²	19° 26' 04.02"	90° 05' 55.61"	Hortic Anthrosol ^a	Hortic Anthrosol	Ladera kárstica
6 ²	19° 26' 15.50"	90° 06' 23.33"	Hortic Anthrosol ^a	Hortic Anthrosol	Valle seco
7 ²	19° 26' 10.32"	90° 06' 27.00"	Hortic Anthrosol ^a	Hortic Anthrosol	Ladera kárstica
8 ²	19° 26' 09.42"	90° 06' 14.58"	Haplic Vertisol (Chromic) + Gleysol ^a	Chromic Vertisol + Gleysol	Valle seco
9 ²	19° 26' 11.04"	90° 06' 23.18"	Haplic Vertisol ^a	Haplic Vertisol	Valle seco
10 ³	19° 29' 21.08"	90° 08' 36.60"	Rendzina ^b	Leptic Chernic Rendzic Phaeozem (Clayic, Hyperhumic)	Cono kárstico
11 ³	19° 28' 24.24"	90° 05' 54.89"	Gleysol Vértico ^b	Haplic Vertisol (Stagnic, Albic)	Ladera kárstica
12 ³	19° 27' 54.90"	90° 01' 24.96"	Nitisol Eútrico ^b	Eutric Mollic Rhodic Nitisol (Endostagnic)	Ladera kárstica
13 ³	19° 26' 20.00"	90° 06' 39.42"	Gleysol Vértico ^b	Haplic Vertisol (Stagnic, Mesotrophic)	Valle seco
14	19° 26' 20.22"	90° 06' 11.74"	Fragic Stagnosol (Drainic) ^c	Fragic Stagnosol (Drainic)	Valle seco
15	19° 26' 07.44"	90° 06' 08.60"	Leptic Vertisol ^c	Leptic Vertisol	Dolina
16	19° 26' 08.12"	90° 05' 57.84"	Rendzic Nudilithic Leptosol (Clayic) ^c	Rendzic Nudilithic Leptosol (Clayic)	Ladera kárstica
17	19° 25' 54.98"	90° 07' 39.11"	Skeletal Leptic Chernic Rendzic Phaeozem (Loamic) ^c	Skeletal Leptic Chernic Rendzic Phaeozem (Loamic)	Cono kárstico
18	19° 26' 09.02"	90° 06' 10.48"	Endoleptic Vertisol (Grumic, Stagnic) ^c	Endoleptic Vertisol (Grumic, Stagnic)	Valle seco
19	19° 26' 10.36"	90° 06' 11.84"	Endoleptic Stagnosol (Capillaric) ^c	Endoleptic Stagnosol (Capillaric)	Valle seco
20	19° 26' 09.10"	90° 06' 12.42"	Endoleptic Vertisol (Grumic, Stagnic) ^c	Endoleptic Vertisol (Grumic, Stagnic)	Valle seco
21	19° 26' 09.02"	90° 06' 12.38"	Endoleptic Stagnosol (Capillaric) ^c	Endoleptic Stagnosol (Capillaric)	Valle seco
22	19° 26' 09.28"	90° 06' 12.38"	Endoleptic Vertisol (Albic, Stagnic) ^c	Endoleptic Vertisol (Stagnic)	Valle seco
23	19° 26' 09.35"	90° 06' 12.42"	Endoleptic Stagnosol (Capillaric) ^c	Endoleptic Stagnosol (Capillaric)	Valle seco
24 ⁴	19° 26' 08.99"	90° 06' 09.68"	Endoleptic Vertisol (Humic, Mesotrophic, Stagnic) ^c	Endoleptic Vertisol (Humic, Mesotrophic, Stagnic)	Valle seco

25⁴	19° 26' 08.92"	90° 06' 09.86"	Endoleptic Stagnosol (Capillaric) ^c	Endoleptic Stagnosol (Capillaric)	Valle seco
-----------------------	-------------------	-------------------	--	---	------------

¹ (INEGI, 2004). ² (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012). ³ (Palma López, y otros, 2012). ⁴ *Perfiles de la sección anterior.* ^a (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). ^b (FAO/UNESCO/DETENAL, 1970). ^c (IUSS Working Group WRB, 2014).

También se observó en campo un desnivel en el límite entre el suelo y la roca madre que va hacia el centro del canal 1, el cual no se había identificado antes, pero que tiene gran correspondencia con la forma del desnivel visto en la parte superficial. Es probable que esté relacionado con algunas de las discontinuidades observadas por el georradar. En el mismo sentido, la posible amplitud del canal 1 también coincide con los reportes de georradar de Munro-Stasiuk. Es decir, el postulado de 50 cm a 1 m, así como sus técnicas, parece ser el más adecuado para describir al canal 1.

En cuanto al resto de los perfiles verificados (Cuadro 4), la mayor parte se ubican en las inmediaciones del sitio, sin embargo, con la recopilación de datos edáficos se logró tener una mayor representatividad de geoformas del paisaje kárstico (Cuadro 5 y Figuras 24, 25 y 26). La distribución de los puntos de verificación se debe, en gran parte, al periodo en el que se obtuvieron los registros complementarios de nuevos perfiles, el cual fue posterior a la visita de campo. De cualquier forma, mediante la integración de todos los puntos (tanto los propios como los adquiridos) se ha logrado asociar perfiles de suelo con la mayor parte de las geoformas presentes.

Respecto a la reclasificación (Cuadro 4), es menester observar varios aspectos. Todos se corroboraron con sus propiedades físicas y químicas y cualquier dato disponible al respecto. Sólo los perfiles del reporte de Faust Wammack y Suárez Aguilar (2012) carecían de calicatas hechas a un metro de profundidad o a roca continua, sin embargo, contaban con clasificaciones de campo para cada perfil. Por otro lado, algunos de los perfiles de Palma López et al. (2012), así como todos los que validé por cuenta propia en campo (2014), carecen de datos de laboratorio. No obstante, se puede generar una clasificación de campo robusta en el segundo y tercer caso y, en el primero, las clasificaciones hechas, en lo general, resultan congruentes con el sitio y con las características y propiedades que reportan para cada perfil.

En los valles secos se reportaban Gleysols (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012; Palma López, y otros, 2012) que ahora se consideran como Stagnosols, todos en el mismo elemento del relieve, en la sección anterior se discutió cómo es el drenaje y su manto colgado, es por ello que se debe revalorar su clasificación. Lo mismo sucede con el calificador Gleyic, el cual se considerará como Stagnic.

Cuadro 5. Relaciones geopedológicas con los criterios de mapeo de la WRB 2014.

Modelado kárstico	Suelo dominante	Suelo co-dominante	Suelo asociado
Cono kárstico	Leptic Chernic Rendzic Phaeozem	Rendzic Leptosol	–
Ladera kárstica	–	Rendzic Leptosol Eutric Mollic Rhodic Nitisol Chromic Vertisol	–
Valle seco	Endoleptic Stagnosol	Endoleptic Vertisol (Stagnic)	Rendzic Leptosol
Dolina o uvala	Leptic Vertisol	–	–
Escarpe	–	Rendzic Leptosol Nitisol	–

Al hacer las relaciones geopedológicas y modificación de los calificadores para el mapeo se respetó el criterio de prescindir de los calificadores secundarios en casi todos los casos (Cuadro 5 y Figura 24), excepto para el Endoleptic Vertisol (Stagnic) asociado, donde se consideró imprescindible resaltar el calificador de Stagnic.

Gran parte de los puntos para valles secos se concentran en el área de estudio (Anaya Hernández & Faust Wammack, 2012; Palma López, y otros, 2012), sin embargo, este valle seco es el más grande del paisaje físico analizado en la sección de geformas. En éste dominan los Stagnosols, lo que nos brinda una idea del resto de los valles secos. Y aunque no se identificaron los suelos de otros valles secos, se recorrieron algunos en el camino que va de Pich al sitio del proyecto Cauich durante la verificación geomorfológica, viendo así que la clasificación era bastante apropiada.

Aunque los registros más abundantes de los valles secos son de Vertisols (Cuadro 4), básicamente todos los puntos están asociados al canal 1 y a los canales inferidos (véase la Figura 6). El suelo de los valles muestra un gran intemperismo, por lo que las propiedades vérticas sólo se manifestarán en aportes de nuevos sedimentos con

arcillas más jóvenes (Buol, F.D., & McCracken, 1990; Brady & Weil, 2007), como las que se encuentran al interior del canal 1 y no en todos los alrededores.

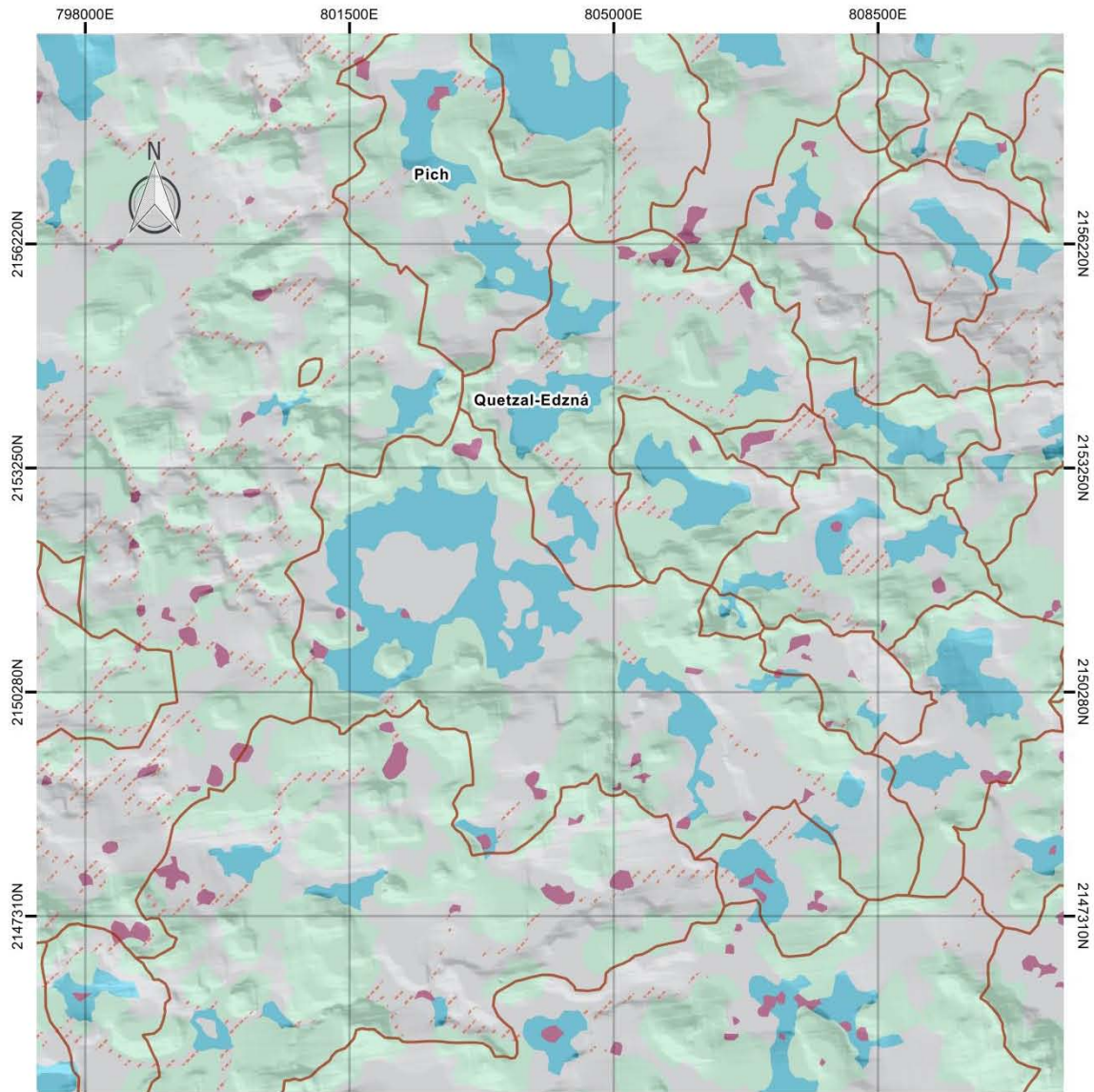
En los conos kársticos existen Phaeozems y Leptosols, los primeros son dominantes, puesto que yacen en sus faldas. Y pesar de no ser los más abundantes, los Leptosols son co-dominantes en este elemento del relieve.

En las laderas kársticas existe una gran variedad de suelos, la cual está ligada a la poca uniformidad del micro-relieve en el que se encuentran en estas formaciones, como sucede en general en la península de Yucatán (Bautista, Jimenez Osornio, & Navarro Alberto, 2003; Bautista, Estrada, Jiménez, & González, 2004). El grupo de suelo más abundante es el de los Leptosols, seguido de Nitisols y Vertisols, sin embargo, ninguno representa más del 50%, por lo que todos son suelos co-dominantes.

Es posible tener relaciones de suelo con dolinas gracias a la verificación que se hizo en una aguada, en las cuales se han visto las características de una dolina porque muchas veces eso son en realidad (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983). Se trata de un Leptic Vertisol. También se corroboró la presencia de propiedades vérticas en otra aguada totalmente azolvada y en la dolina donde convergen las aguas de la zona arqueológica hacia la ponora del este (Figura 25). Tanto en dolinas como en uvalas, es factible encontrar estos suelos.

El único elemento del relieve que no se pudo asociar con suelos de forma directa fue el de los escarpes, no cuentan con ningún perfil descrito o registrado. Sin embargo, en campo se recorrieron los lugares en los que se ubicaban estos elementos, que se muestran como suaves cuestas con posibles Leptosols y Nitisols, lo cual es plausible según información para pendientes similares en la península (Bautista, Estrada, Jiménez, & González, 2004; Palma López, y otros, 2012).

En términos del agua superficial en relación a los suelos, se puede decir que tiende a moverse en el mismo sentido que el procesos erosivo. Es por ello que el drenaje va de los Phaeozems hacia los Stagnosols, y aún más a los Vertisols.



Leyenda

Interfluvios

Suelos

- Dominante: Leptic Chernic Rendzic Phaeozem
 Co-dominante: Rendzic Leptosol
- Co-dominante: Rendzic Leptosol
 Co-dominante: Eutric Mollic Rhodic Nitisol
 Co-dominante: Chromic Vertisol
- Dominante: Endoleptic Stagnosol
 Asociado: Endoleptic Vertisol (Stagnic)
 Asociado: Rendzic Leptosol
- Dominante: Leptic Vertisol
- Co-dominante: Rendzic Leptosol
 Co-dominante: Nitisol

Figura 24. Distribución de los suelos en el paisaje kárstico.

En el reporte de Anaya Hernández y Faust Wammack (2012) se reconoce la presencia de Hortic Anthrosol, sin embargo, durante los recorridos de campo de esta tesis no se pudieron identificar tales suelos. La adición por humanos de materiales en

un suelo, en espesores o concentraciones grandes, se podría clasificar dentro del grupo Anthrosol si tuvieran fines agrícolas o implicaciones positivas sobre la fertilidad de los suelos, en caso contrario calificarían como artefactos y se clasificaría como Technosol (IUSS Working Group WRB, 2014). Por ello conviene ser cuidadoso a la hora de asumir los Hortic Anthrosols reportados, si las adiciones no tendían a mejorar la fertilidad entonces esos suelos podrían considerarse como Technosols (Transportic).

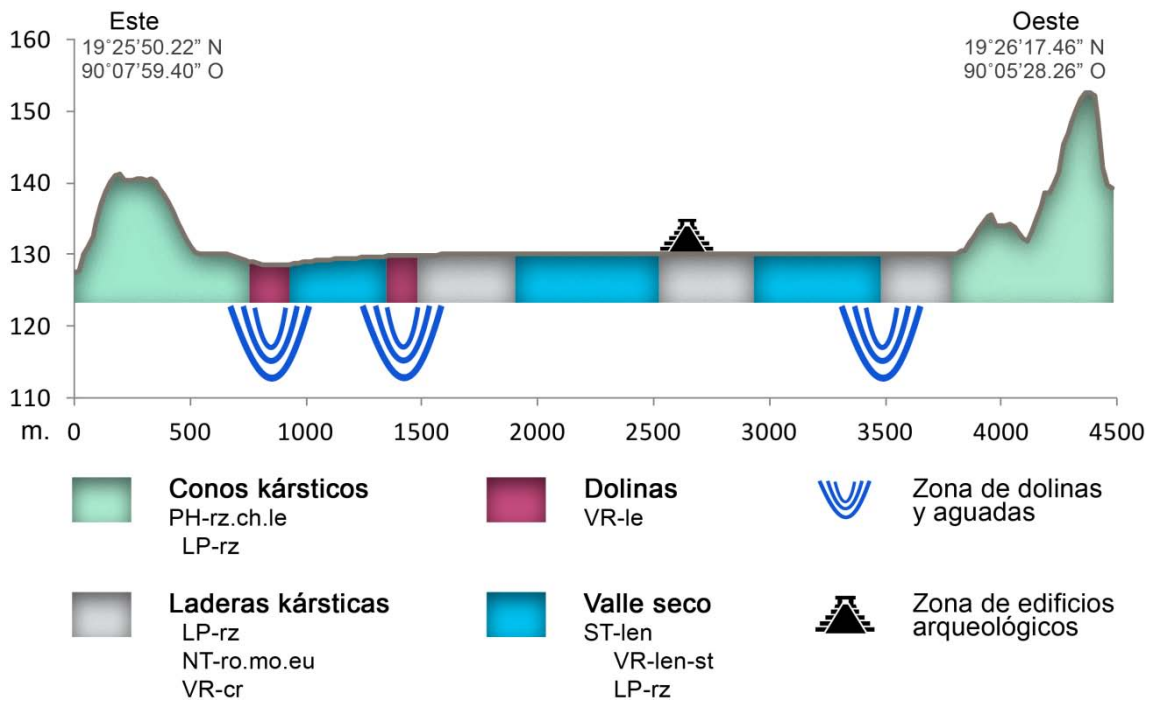


Figura 25. Catena con zonas de mayor infiltración y de edificios.

La delimitación de materiales modificados o alterados por humanos es reciente en los sistemas de clasificación mundiales (IUSS Working Group WRB, 2006; IUSS Working Group WRB, 2014; Soil Survey Staff, 2014), por ello es que su identificación no es algo usual para levantamientos de poco detalle.

Como rasgo arquitectónico se acostumbraba a depositar una base de tierra y otros materiales no consolidados a manera de plataforma o cimiento para los grandes edificios, también en las áreas habitadas se acumulaban materiales orgánicos como productos de desecho durante la vida cotidiana prehispánica (lo cual aumenta la fertilidad sin estar necesariamente ligado a una intención de mejoramiento). En el primer caso se habla de un Technosol y en el segundo de un Anthrosol, en ambos

casos se producen terrenos elevados y más drenados, como es el caso de una buena parte de la zona edificada del sitio de estudio (véanse las Figuras 25 y 26).

En este sitio se ha visto que los suelos de los canales tienen marcadas propiedades vérticas, cosa que no sucede en los campos drenados y que debiera suceder, al menos en sus partes más someras, si se quiere pensar en un sistema de campos elevados y drenados a la vez, donde los sedimentos y azolves de los canales se hayan utilizado para elevar los campos (Duch Gary, 1991).

Un rasgo curioso de las formas de manejo del agua superficial es que las aguadas yacen en las zonas transicionales entre tipos de suelos, las cuales también son transiciones entre laderas kársticas y valles secos. Esto podría estar relacionado con la formación misma de las dolinas, ya que es común que sean adaptadas para convertirse en aguadas (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983).

Ya se ha visto previamente que las aguadas están asociadas a áreas urbanas y residenciales (Matheny, Gurr, Forsyth, & Hauck, 1983). Los Mayas modificaban algunas geoformas para adaptarlas a sus ciudades, ya sea elevando campos o modificando los cauces naturales del agua con el fin de no sufrir de inundaciones o de producir alimentos y fuentes de agua potable para el periodo de estiaje (Matheny, 1976; Benavides Castillo, 1997; Beach T. , Luzzadder Beach, Dunning, & Cook, 2008; Luzzadder Beach, Beach, & Dunning, 2012).

La zona urbana de esta zona arqueológica se ubica en suelos que en general tienen malas propiedades hidráulicas, los cuales requieren de un manejo para drenar los excedentes de lluvia. En secas, en los Vertisols se exponen grietas sobre su superficie, sin embargo, en su interior continúan guardando humedad residual. No obstante, no parece existir una humedad residual tan acentuada en más suelos de las partes bajas, por ejemplo como en los Stagnosols. Como ya se ha mencionado antes, para diciembre ya han perdido prácticamente toda su humedad aprovechable por las plantas.

Es probable que los canales continúen hidratándose por la filtración de los excesos de humedad en las zonas adyacentes, los cuales vierten en ellos agua que puede dirigirse hacia las aguadas y utilizarse para consumo humano.

La época de secas supone un problema mayor para el crecimiento y producción de los cultivos. Esto a diferencia de la humedad residual que queda en otras formaciones kársticas de la península, como las hondonadas, ubicadas en bajos inundables con campos elevados que mantienen suficiente humedad residual para el establecimiento de cultivos como la caña o el azúcar (Duch Gary, 1991).

El problema del estiaje en los Stagnosols puede ser resuelto a través de la domesticación en plantas a un ciclo corto, como en algunas de las variedades maíz presentes en la región (Cowgill, 1960; Celso Vivas, comunicación personal; José Alberto Godoy Juárez, comunicación personal). Con ello se asegura que la raíz del maíz tenga niveles de oxígeno y humedad adecuados durante su crecimiento.

En cuanto a los terrenos con mayor posibilidad agrícola es necesario hacer una aclaración previa, los criterios de uso potencial de la actualidad no son los mismos que los que se tenían en tiempos precolombinos (Rojas Rabiela T. , 1991; Faust B. B., 2003; Carrillo Trueba, 2009; Krasilnikov, Gutiérrez Castorena, Ahrens, Cruz Gaistardo, & Sedov, 2013). Aunque los requerimientos de fertilidad son básicamente los mismos en cuanto a la planta, los requerimientos de terreno varían en tanto su facilidad para aprovecharse con las tecnologías disponibles o preferidas de la época.

Los requerimientos tecnológicos y las formas de manejo se pueden inferir mediante las prácticas que aún se reproducen hoy día. En cuanto al manejo agrícola tradicional, de roza-tumba-quema, se sabe que se practica prioritariamente en pendientes y fosas kársticas (i.e. dolinas y uvalas) más que sobre valles (Fedick, 1996; Faust B. B., 2010).

Los valles secos, como en el que se ubica la zona arqueológica, tienen limitantes por un drenaje deficiente y excesos de agua en época de lluvias; a pesar de ello, bajo criterios agronómicos (IMTA, 1989; Colegio de Postgraduados, 1991; IUSS Working Group WRB, 2014) es preferible cultivar en éstos que sobre los Leptosols de las laderas debido a la profundidad efectiva del suelo, a la pedregosidad y a la pendiente.

Dentro del manejo agrícola maya de la península de Yucatán las zonas de Leptosols se siguen prefiriendo debido a su fertilidad química; incluso, si se escoge con cuidado el sitio de siembra (v.g. en una fosa kárstica o una fracción de Leptosol sin el calificador

Hyperskeletal) la fertilidad física también será alta (Sedov, y otros, 2007; Fedick, Flores Delgadillo, Sedov, Solleiro Rebolledo, & Palacios Mayorga, 2008). En contraste, en las zonas de Stagnosols las raíces de los cultivos sufren de asfixia por la saturación del agua y si los suelos se drenan constantemente es muy probable que las plantas sufran de estrés hídrico a pesar de que el suelo esté húmedo (Chrispeels & Sadava, 1977), esto debido a su baja humedad aprovechable (véase la Figura 17) y a que la tasa de evapotranspiración así podría llegar a ser superior a la de absorción de agua del suelo por las raíces (véase la Figura 7).

Finalmente, aunque la agricultura de excedentes se encontrara en los montes de las partes altas, en las partes bajas donde se encontraban los asentamientos humanos es posible que también existiera un manejo activo de plantas, pero más bien a manera de huertos y solares. Esto debido a la conocida tradición que se tiene en torno a la vivienda maya, donde dicha producción resulta un suplemento a la que se genera del monte (Cowgill, 1960; Dumond, 1961; Faust B. B., 2003).

5.4.2 *DISCUSIÓN FINAL*

Gracias a todas las ideas y razonamientos anteriores es posible hilar una historia, contar la hipótesis de cómo se podría haber conformado este espacio hace más de mil años, historia que se presenta en estas últimas líneas de discusión.

Cuando el sistema de canales y aguadas se encontraba en operación se pudieron haber encontrado los siguientes elementos en el paisaje:

- Ponoras y dolinas
- Canales y aguadas hacia el este
- Canales y aguadas hacia el oeste
- Sartenejas
- Chultunes
- Edificios centrales
- Monte
- Casas, huertas y solares

Los canales y aguadas pudieron haber sido una forma de control de inundaciones en temporada de lluvias y de provisión de aguas en el estiaje. Los que van de la zona de edificios hacia el oeste convergen primero en una zona de dolinas, las cuales funcionaban como un primer control del agua. Una vez rebasada la capacidad de las dolinas, el agua fluía hacia una última zona de dolinas; éstas infiltraban el agua como

cualquier otra dolina, hasta que su capacidad rebasara cierto umbral, el cual “destapaba” los sedimentos que pudieran cubrir a las ponoras y se daba así una percolación acelerada, la cual drenaba el sitio.

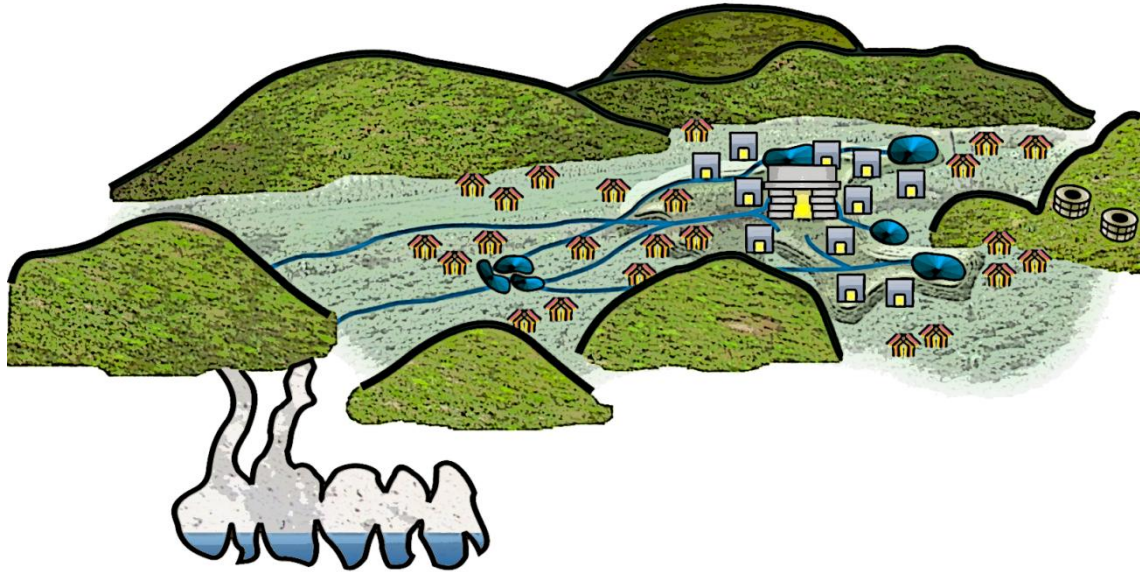


Figura 26. Reconstrucción hipotética del paisaje de la zona arqueológica cuando el sistema de canales y aguadas se encontraba en funcionamiento.

Por su parte, los canales y aguadas que van de la zona de edificios hacia el este parecen no tener rasgos evidentes de dolinas tan activas, donde el agua pueda drenar, por lo que hay un canal (el último al sur) cuya función pudiera haber sido la de redistribuir los excesos del agua nuevamente hacia el oeste. Parece ser que estos canales tienen una forma cóncava como auxiliar en el abastecimiento del agua, ya que los excesos de humedad de las zonas adyacentes se drenarían hacia estos canales, siendo una fuente provisional de agua. Aunque su calidad sea seguramente mayor a la de las aguadas, su cantidad es evidentemente mucho menor.

Para evitar que se infiltrase el agua tan rápido que sea inutilizable durante el estiaje, algunas aguadas contaban con un aplanado de baja permeabilidad, regularmente de estuco, argamasa o arcilla compactada (Faust B. B., 2010). Algunas aguadas podrían contar con casimbas (pozos someros); en caso de que el estiaje se prolongue demasiado, las casimbas servirían como una forma de provisión auxiliar de agua (Faust B. B., 2010).

Los *chultunes* y sartenejas parecen ser una forma previa o auxiliar a la del sistema de canales y aguadas. Esto dado que la cantidad de agua que pueden almacenar abastecería a una cantidad mucho menor de gente y dado que su complejidad es mucho menor que aquel otro. Se pudieron haber usado para el consumo humano mediante el abastecimiento de agua.

Empero, en el caso de las sartenejas Benavides Castillo (1997), así como Sedov et al. (2007), sostienen que pudieron haber servido como una forma de almacenar materiales ricos en nutrimentos, los cuales pueden usarse como fertilizantes, tanto para parcelas como para huertas o jardines.

Los edificios parecen ubicarse en un excelente lugar para observar todo el valle, su ubicación céntrica sólo tiene la amenaza anual de inundaciones por las lluvias, riesgo que redujeron con el desarrollo de cimientos, aguadas y canales. Asimismo, el asentarse en un lugar tan plano les permitiría expandirse sin mayor complicación.

Por su parte, las lomas y conos son un excelente lugar para practicar la agricultura de roza-tumba-quema. Esta va enfocada principalmente a la producción de maíz. Actividades como la caza o la recolección en los montes de las partes altas o bajas no se descartan. De cualquier forma, los montes de las partes altas parecen haber sido el lugar predilecto para producir maíz.

La zona habitacional seguramente se ubicó en torno a los canales y a los edificios principales, como ya se ha visto con Matheny et al. (1983). Es probable que un sector se abasteciera de las aguadas, pudiera haber otro que lo hiciera de la poca agua que no se llegase a drenar de la parte más cóncava de los canales. Las casas debieron de contar con huertas y solares, los cuales tendrían su propia producción de hortalizas, ornamentales, medicinales y ganado aviar.

Todas estas formas de manejo aprovechaban la propia dinámica geohidrológica en su diseño y práctica. El sistema de manejo hídrico no se puede entender en su cabalidad si no se incluyen a las ponoras como parte del mismo, ya que es ahí donde se drenaba el agua conducida por los canales.

En el mismo sentido, al no tener gran información respecto a las prácticas agrícolas prehispánicas en el sitio, el uso de las partes bajas para la producción de cultivos diferentes al maíz no se puede descartar. Tampoco se puede descartar que los canales y las aguadas tuvieran un uso simultáneo con otras prácticas, por ejemplo un manejo piscícola. De igual forma, es preciso hacer una verificación de los nuevos canales inferidos y de la posible área urbana identificada. Es importante identificar más ponoras del lado oeste, ya que al ubicarlas y ver su relación con la zona de canales se entenderán mejor las formas en que se drenaba el agua hacia el poniente.

Finalmente, hoy día el garantizar la suficiencia de alimentos nutritivos y el abasto de agua potable se vuelven necesidades imperativas y prioritarias (Dinar, 2002; Grey & Sadoff, 2007; FAO, 2011). El entendimiento de las formas prehispánicas de manejo de agua y suelos pueden resultar de gran utilidad para fortalecer la seguridad alimentaria e hídrica en la actualidad.

6 CONCLUSIONES

El sistema de manejo el agua de lluvia en la zona de estudio fue destinado para el control de inundaciones en la época de lluvias y el abastecimiento de agua para consumo humano en la época de estiaje. Se compone de canales, sartenejas, aguadas, dolinas y ponoras. En el mismo orden, sus usos fueron: drenaje y transporte del agua; abastecimiento; control de inundaciones y abastecimiento; control de inundaciones; control de inundaciones.

El sitio arqueológico se ubica en un valle seco con dolinas y ponoras. Se identificaron modelados de disolución y residuales, los cuales son: dolinas, uvalas, valles secos, escarpes, laderas kársticas y conos kársticos.

Existen condiciones muy contrastantes entre el periodo de secas, que va de noviembre a mayo, y de lluvias, que va de mayo a noviembre con una canícula en julio. Según el periodo 1973-1998, el clima local se encuentra en un periodo de transición, con incrementos leves en su precipitación y decrementos leves en su temperatura.

Las aguadas tuvieron una doble función: en lluvias, control de inundaciones; en secas, almacén de agua. Por otra parte, la profundidad del canal 1 está entre 50 cm y un metro de profundidad.

Además del sistema de edificios-canales-aguadas-ponoras existen otras formas prehispánicas de manejo de agua como chultunes y otras aguadas independientes.

Aunque el hidromorfismo es común en los suelos dentro y fuera de los canales, la argiloturbación sólo se presenta en los suelos dentro de los canales. Se encontró que ésta es una característica útil para diagnosticar sedimentos recientes. El drenaje es una necesidad evidente para todos los suelos de la parte baja. La presencia de un canal no sólo es congruente con las necesidades de manejo que impone el sitio, sino que es bastante probable dadas las características físicas, químicas y magnéticas entre el suelo dentro y fuera del canal 1.

Es posible encontrar hasta seis diferentes grupos de suelo en este paisaje kárstico, ellos son: Phaeozems, Leptosols, Nitisols, Vertisols, Anthrosols y Stagnosols. Los Leptosols y Vertisols se encuentran presentes en casi todos los modelados kársticos, aunque los últimos tienen una distribución bastante restringida asociada a zonas de depósito y acumulación.

Respecto a los pasados usos potenciales se establecieron las siguientes relaciones:

- En las dolinas y uvalas los Vertisols eran una zona de descarga y desagüe de los excedentes del agua de lluvia.
- En los valles secos los Vertisols son el registro de la existencia de canales y aguadas por sus propiedades vérticas y en los Stagnosols pudieron haber existido zonas habitacionales con campos drenados para reducir el riesgo ante inundaciones.
- En los conos kársticos hay Phaeozems y Leptosoles donde se practicaba el roza-tumba-quema como forma agrícola de producir excedentes.
- En escarpes y laderas kársticas hay Leptosoles y Nitisoles que también son susceptibles de presentar actividades agrícolas, de caza y recolección.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aceves, E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego* (Segunda edición ed.). México: BBA.
- Anaya Hernández, A., & Faust Wammack, B. B. (2012). *Una aproximación a la Arqueohistoria de Cauich, Campeche. Informe final de los trabajos realizados en el rancho Cauich, Campeche, durante la temporada 2008*. Informe técnico al Consejo de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Consejo de Arqueología.
- Ayala, G., Canti, M., Heathcote, J., Sidell, J., & Usai, R. (2007). *Geoarchaeology*. Swindon: English Heritage.
- Bates, R. G. (1983). *Determination of pH*. New York, EUA: Wiley.
- Bautista Zúñiga, F., Batllori Sampedro, E., Ortiz Pérez, M. A., Palacio Aponte, G., & Castillo González, E. (2003). Geformas, agua y suelo en la península de Yucatán. En P. Colunga-GarcíaMarín, & A. Larqué Saavedra (Edits.), *Naturaleza y sociedad en el área maya: pasado, presente y futuro* (págs. 21-35). México: AMC y CICY.
- Bautista Zuñiga, F., Palacio Aponte, A. G., Mendoza Vega, J., Kú Quej, V. M., Pool Novelo, L., & Cantarell Jiménez, W. (2010). Suelos. En G. Villalobos-Zapata, & J. Mendoza Vega, *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (pág. 730). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Bautista, F., & Palacio, G. (2011). Capítulo 16. Geografía de suelos regional: Península de Yucatán. En P. Krasilnikov, F. J. Jiménez Nava, T. Reyna Trujillo, & N. E. García

- Calderón, *Geografía de los Suelos de México* (pág. 462). México, Distrito Federal: UNAM, Facultad de Ciencias.
- Bautista, F., Bautista Hernández, D. A., Álvarez, O., & De la Rosa, D. (2010). MOCLIC. *Sistema de análisis de datos para el monitoreo regional y local del cambio climático con índices agroclimáticos, Versión 1.0.0.0*. México: CIGA UNAM.
- Bautista, F., Cejudo Ruiz, R., Aguilar Reyes, B., & Gogichaishvili, A. (2014). El potencial del magnetismo en la clasificación de suelos: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 123-134.
- Bautista, F., Estrada, H., Jiménez, J., & González, J. (2004). Relación entre relieve y suelos en zonas carsticas. *Terra Latinoamericana*, 3(22), 243-254.
- Bautista, F., Jimenez Osornio, J., & Navarro Alberto, J. (2003). Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra*(21), 1–11.
- Bautista, F., Palacio Aponte, G., Quintana, P., & Zinck, J. A. (2011). Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico. *Geomorphology*(135), 308-321.
- Beach, T., Luzzadder Beach, S., Dunning, N., & Cook, D. (2008). Human and natural impacts on fluvial and karst depressions of the Maya lowlands. *Geomorphology*(101), 301-331.
- Beach, T., Luzzadder Beach, S., Dunning, N., Jones, J., Lohse, J., Guderjan, T., . . . Bhattacharya, T. (2009). A review of human and natural changes in Maya Lowland wetlands over the Holocene. *Quaternary Science Reviews*(28), 1710–1724.
- Benavides Castillo, A. (1997). *Edzná: Una ciudad prehispánica de Campeche* (Arqueología de México ed.). (C. J. Follett, Trad.) México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. En A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods* (Vol. SSSA Book Series 5.1, págs. 363-375). Madison, Wisconsin, EUA: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Bocco, G., Mendoza, M. E., Priego, Á., & Burgos, A. (2009). *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial* (1ra ed.). (SEMARNAT, INE, UNAM, & CIGA, Edits.) Morelia, Michoacán, México.
- Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy*, 43(9), 464-465.
- Bracamonte y Sosa, P. (2001). *La Conquista Inconclusa de Yucatán: Los Mayas de la Montaña* (Colección Peninsular ed.). México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Brady, N. C. (1984). *The Nature and Properties of Soils* (9na edición ed.). New York, NY.: Macmillan Publ. Co.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2007). *The nature and properties of soils* (14ta edición ed.). Estados Unidos: Prentice Hall.
- Buol, S., F.D., H., & McCracken, R. (1990). *Génesis y clasificación de suelos* (2da edición ed.). México: Trillas.
- Carrillo Trueba, C. (2009). El origen del maíz: naturaleza y cultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 4-13.
- Celedón Muñiz, H. (2006). Tesis de maestría. *Impacto del sistema agrícola de roza, tumba y quema sobre las características de tres unidades de suelo en la selva Lacandona de Chiapas*. México: Facultad de Ciencias, UNAM.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10.

- Chapman, H. D. (1965). Cation-Exchange Capacity. En A. G. Norman (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Vol. Agronomy Monograph 9.2, págs. 891-901). Madison, Wisconsin, EUA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Chapman, H. D. (1965). Total Exchangeable Bases. En A. G. Norman (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Vol. Agronomy Monograph 9.2, págs. 902-904). Madison, Wisconsin, EUA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Chesworth, W. (Ed.). (2008). *Encyclopedia of Soil Science*. Springer.
- Chrispeels, M. J., & Sadava, D. E. (1977). *Plants, Food and People*. W.H. Freeman & Co Ltd.
- Colegio de Postgraduados. (1991). *Manual de conservación de suelo y agua. Instructivo*. SARH, SPP, CP. Chapingo, Edo. Mex. 248.
- Cowgill, U. M. (1960). Soil fertility, population, and the ancient maya. *Proceedings of the national academy of sciences*, 8(46), 1009-1011.
- Dearing, J. A. (1999). *Environmental magnetic susceptibility, Using the Bartington MS2 system*. Inglaterra: British Library.
- Dinar, S. (2002). Water, Security, Conflict, and Cooperation. *SAIS Review*, 22(2), 229-253.
- Duch Gary, J. (1991). *Fisiografía del Estado de Yucatán. Su relación con la agricultura*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Dumond, D. E. (1961). Swidden agriculture and the rise of maya civilization. *Southwestern journal of anthropology*, 17(4), 301-316.
- Dunning, N. P., Luzzadder-Beach, S., Timothy, B., Jones, J. G., Scarborough, V., & Culbert, T. P. (2002). Arising from the Bajos: The evolution of a neotropical

landscape and the rise of Maya civilization. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(2), 267-283.

FAO. (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. Rome: by ISSS-ISRIC-FAO.

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: FAO.

FAO. (2011). *Climate change, water and food security* (Vol. 36). (H. Turrall, J. Burke, & J.-M. Faurès, Edits.) Roma.

FAO/UNESCO/DETENAL. (1970). *Leyenda de Clasificación de Suelos FAO/UNESCO (1968), modificado por DETENAL (Dirección de Estudios del Territorio Nacional)*. México.

Faust Wammack, B. B., & Suárez Aguilar, V. (2013). *Solicitud al INAH para etapas 2 y 3 de la extensión del proyecto Cauich (iniciado en 2008)*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Consejo de Arqueología.

Faust, B. B. (2003). Comentarios a la sesión "La relación sociedad-naturaleza en la historia de los mayas". En P. Colunga-GarcíaMarín, & A. Larqué Saavedra (Edits.), *Naturaleza y sociedad en el área maya: pasado, presente y futuro* (págs. 131-141). México: AMC y CICY.

Faust, B. B. (2010). *El desarrollo rural en México y la serpiente emplumada. Tecnología y cosmología maya en la selva tropical de Campeche*. (S. Mastrangelo Puech, Trad.) México: Fondo de Cultura Económica y Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Fedick, S. L. (Ed.). (1996). *The Managed Mosaic: Ancient Maya Agriculture and Resource Use*. Salt Lake City: University of Utah Press.

Fedick, S. L., Flores Delgadillo, M. d., Sedov, S., Solleiro Rebolledo, E., & Palacios Mayorga, S. (2008). Adaptation Of Maya Homegardens By "Container Gardening" In Limestone Bedrock Cavities. *Journal of Ethnobiology*, 28(2), 290-304.

- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. West Sussex, Inglaterra: Wiley.
- Fuentes Freixanet, V. A. (s.f.). *Programas*. Recuperado el 18 de marzo de 2015, de Arquitectura bioclimática: arq-bioclimatica.com/
- García Gil, G., & Graniel Castro, E. (2010). Geología. En R. Durán García, & M. Méndez González (Edits.), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (págs. 4-6). Mérida, Yucatán, México: CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma.
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. DF, México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., . . . R., V. (Edits.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Luxemburgo: Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. En A. Klute, *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods* (págs. 383-411). Madison, Wisconsin, EUA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*(9), 545-571.
- Gupta, A. (2011). *Tropical Geomorphology*. Cambridge.
- Hanesch, M., & Scholger, R. (2005). The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophys. J. Int.*, 161, 50-56.
- Healy, P. F., Emery, K., & Wright, L. E. (1990). Ancient and Modern Maya Exploitation of the Jute Snail (*Pachychilus*). *Latin American Antiquity*, 2(1), 70-183.

- Henderson, J. S. (1981). *The world of the ancient maya*. Ithaca, New York, USA: Cornell University Press.
- IMTA. (1989). *Manual de clasificación cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos*. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- INEGI. (1985). Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica [mapa]. Escala 1:1 000 000. Serie I (Continuo Nacional). México.
- INEGI. (1985). Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica [mapa]. Escala 1:250 000. serie I (Continuo Nacional). México.
- INEGI. (1985). Conjunto de Datos Geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperatura Media Anual [mapa]. Escala 1:1 000 000. Serie I (Continuo Nacional).
- INEGI. (1988). Red Hidrográfica [mapa]. Escala 1:50 000. Edición 2.0.
- INEGI. (1993). Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico [mapa]. Escala 1:250 000. Serie II (Continuo Nacional). México.
- INEGI. (2002). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Vegetación [mapa]. Escala 1:250 000. Serie III (Continuo Nacional). México.
- INEGI. (2004). Base de datos. *Información Nacional sobre Perfiles de Suelo versión 1.2*. México.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Campeche, Campeche*.
- INEGI. (2013). *Catastro de la propiedad social (PROCEDE)*. Recuperado el 01 de 01 de 2014, de Mapa en línea de INEGI: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6>
- INEGI. (2013). CEM 3.0. *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0, Versión 3.0*. México.
- INTA. (2006). ERIC III. *Versión 3.0*. México.

- ISO 11265. (01 de 10 de 1994). *Soil quality – Determination of the specific electrical conductivity, 1ra edición.*
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103.* Roma: FAO.
- IUSS Working Group WRB. (2006). *World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103.* Roma: FAO.
- IUSS Working Group WRB. (2010). *Addendum to the World Reference Base for Soil Resources: Guidelines for constructing small-scale map legends using the World Reference Base for Soil Resources.* Roma: FAO.
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106.* Roma: FAO.
- Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 2(10), 423-436.
- Kirchhoff, P. (1960). Mesoamérica, sus límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales. *Suplemento de la revista Tlatoani*(3), 13 p.
- Klute, A. (1986). Water retention: laboratory methods. En A. Klute, *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods* (págs. 635-662). Madison, EUA: American Society of Agronomy & Soil Science Society of America, Inc.
- Krasilnikov, P., Gutiérrez Castorena, M. d., Ahrens, R. J., Cruz Gaistardo, C., & Sedov, S. S. (2013). *The Soils of Mexico.* Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Lesser, J. M., & Weidie, A. E. (1988). Region 25, Yucatan Peninsula. En *The Geology of North America* (Vols. O-2, Hydrogeology, págs. 237-241). The Geological Society of America.

- Lindbo, D. L., Scolt, M. H., & Vepraskas, M. J. (2010). Redoximorphic Features. En G. Stoops, V. Marcelino, & F. Mees (Edits.), *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths* (págs. 129-147). Elsevier.
- Linding, R., & Casas, A. (2013). Experiencias docentes en integración de conocimientos ambientales en comunidades rurales. En A. Camou Guerrero, A. Castillo, & E. García-Frapolli, *Procesos de formación educativa interdisciplinaria: miradas desde las ciencias ambientales* (1ra edición ed., pág. 352). México: UNAM.
- Lugo Hubp, J. (2011). *Diccionario geomorfológico* (Geografía para el Siglo XXI ed., Vols. Serie de Textos Universitarios, 7). México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Luzzadder Beach, S., & Beach, T. (2009). Arising from the Wetlands: Mechanisms and Chronology of Landscape Aggradation in the Northern Coastal Plain of Belize. *Annals of the Association of American Geographers*, 99(1), 1-26.
- Luzzadder Beach, S., Beach, T., & Dunning, N. (2012). Wetland fields as mirrors of drought and the Maya abandonment. *PNAS*, 109(10), 3646-3651.
- Manzanilla Haas, R. E. (2010). Aprovechamiento de las cuevas del municipio de Opichen, Yucatán. *Mundos Subterráneos. UMAE*(20), 141-146.
- Mariaca Méndez, R. (1993). La fertilidad del suelo en la milpa bajo roza-tumba-quema en Yucatán. En D. Zizumbo Villarreal, L. M. Arias Reyes, & C. H. Rasmussen (Edits.), *La modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad* (págs. 215-226). Mérida, Yucatán, México: Centro de investigaciones científicas de Yucatán, Colegio de Postgraduados y Ministerio de Cultura de Dinamarca.
- Matheny, R. T. (1976). Maya lowland hydraulic systems. *Science*, 193(4254), 639-646.
- Matheny, R. T., Gurr, D. L., Forsyth, D. W., & Hauck, F. R. (1983). Investigations at Edzná Campeche, Mexico. *New World Archaeological Foundation*, 1(46), 18-26.
- Munsell Color. (2000). *Munsell soil color chart* (2000 rev. washable ed. ed.). Grand Rapids, Michigan, EUA.

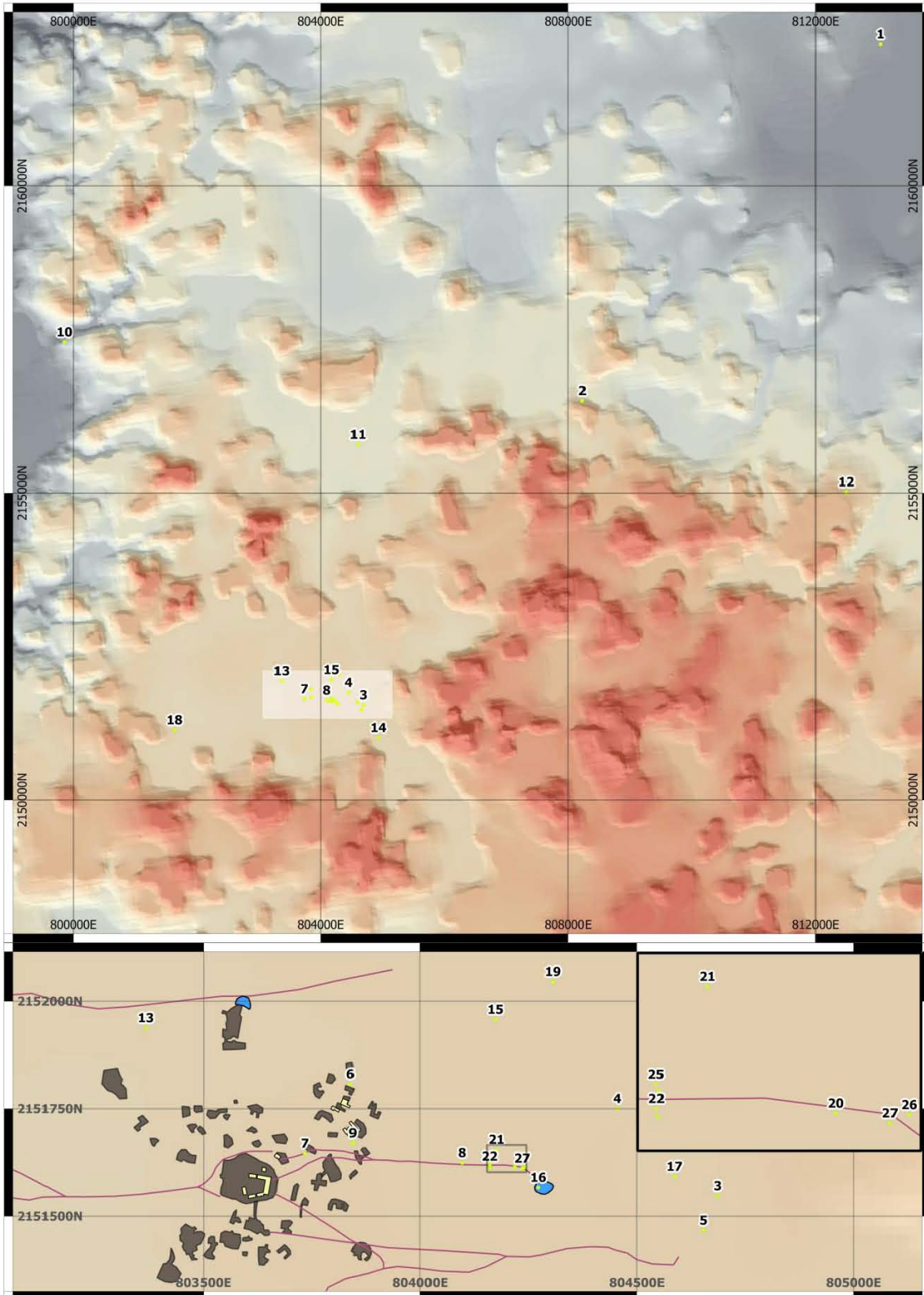
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (31 de diciembre de 2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*.
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. En A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Vol. Agronomy 9 part 2, págs. 420-422). Madison, Wisconsin, EUA: American Society of Agronomy.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., & Gay, C. (2009). *Atlas: Escenarios de cambio climático en la península de Yucatán*. Mérida, Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Orellana, R., Islebe, G., & Espadas, C. (2003). Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán. En P. Colunga-GarcíaMarín, & A. Larqué Saavedra (Edits.), *Naturaleza y sociedad en el área maya: pasado, presente y futuro* (págs. 37-52). México: AMC y CICY.
- Ortiz Solorio, C. A. (2010). *Edafología* (8va edición ed.). México: Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos.
- Palacio Aponte, A. G., Bautista Zuñiga, F., & Ortiz Pérez, M. A. (2010). Relieve. En G. Villalobos-Zapata, & J. Mendoza Vega, *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (pág. 730). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Palma López, D. J., Zavala Cruz, J., Bautista Zuñiga, F., Morales Garduza, M. A., López Castañeda, A., Shirma Torres, E. D., . . . Contreras Rodríguez, I. (2012). *Estudio sobre el Plan de Uso Sustentable de los Suelos del Estado de Campeche (PM-11-6069)*. SDR - COLPOS Campus Tabasco. Campeche: Secretaría de Desarrollo Rural.

- Poch, R. M., Jacovella, L., & Usón, A. (1997). Micromorfología de costras superficiales en suelos de viña en el Anoa-Penedès: implicaciones en el manejo de suelos. *Edafología*, 2, 169-177.
- Porta Casenellas, J., López Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ra Edición ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Puleston, D. E. (1977). The Art and Archaeology of Hydraulic Agriculture in the Maya Lowlands. En N. Hammond (Ed.), *Social Process in Maya Prehistory: Studies in Memory of Sir Eric Thompson* (págs. 449-467). New York: Academic Press.
- Quiñones, H. (1987). El sistema fisiográfico de la Dirección General de Geografía. *Revista de Geografía*, 2, 13-20.
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Rebolledo Vieyra, M. (2010). Clima. En G. Villalobos-Zapata, & J. Mendoza Vega, *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Caso* (pág. 730). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Rojas Rabiela, T. (1991). *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días*. D.F., México: Grijalbo.
- Rojas Rabiela, T., Martínez, J. L., & Murillo, D. (2009). *Cultura Hidráulica y Simbolismo Mesoamericano del Agua en el México Prehispánico*. (IMTA-UNESCO, Ed.) Morelos, México.
- Rossiter, D. G. (2000). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo* (2da ed.). (D. Vargas Rojas, Trad.) International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC).

- Salgado García, S., Palma López, D. J., Castelán Estrada, M., Lagunes Espinoza, L. d., & Ortiz Laurel, H. (2013). *Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos*. H. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.
- Sánchez, P. A., Couto, W., & Buol, S. W. (1982). The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability and modification. *Geoderma*(27), 283-309.
- Scarborough, V. L. (1983). A Preclassic Maya Water System. *American Antiquity*, 48(4), 720-744.
- Sedov, S., Solleiro Rebolledo, E., Fedick, S. L., Gama Castro, J., Palacios Mayorga, S., & Vallejo Gómez, E. (2007). Soil genesis in relation to landscape evolution and ancient sustainable land use in the northeastern Yucatan península, México. *Atti. Soc. tosc. Sci. nat., Serie A*(112), 115-126.
- Servicio Geológico Mexicano. (agosto de 2005). Carta geológico-minera Campeche E15-3. (E. A. Cardoso Vázquez, E. Sánchez Garrido, J. A. Rafael Fernández, & L. Mata Hernández, Edits.) Campeche, México.
- Sharer, R. J. (1998). *La civilización maya*. España, España: FCE.
- Smith, M. J., Paron, P., & Griffith, J. S. (2011). *Geomorphological mapping: Methods and applications. Developments in Earth surface processes* (Vol. 15). (J. F. Shroder Jr., Ed.) Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12a ed. ed.). Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Sojka, R. E. (1999). Physical Aspects of soils of disturbed ground. En L. R. Walker, & D. W. Goodall (Ed.), *Ecosystems of disturbed ground* (Vol. 16, págs. 503-520). Países bajos: Elsevier.
- Turner II, B. L., & Sabloff, J. A. (28 de Agosto de 2012). Classic Period collapse of the Central Maya Lowlands: Insights about human-environment relationships for sustainability. *PNAS*, 109(35), 13908-13914.

- Walkey, A., & Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Ward, A. D., & Trimble, S. W. (2003). *Environmental hydrology* (2da edición ed.). EUA: Lewis Publishers.
- Weidie, A. E. (1985). Geology of the Yucatan Platform. En W. C. Ward, A. E. Weidie, & W. Black (Edits.), *Geology and Hydrogeology of the Yucatan and Quaternary Geology of northeastern Yucatan Peninsula* (Vol. 160). New Orleans, Louisiana, EEUU: New Orleans Geological Society.
- Weiss Krejci, E., & Sabbas, T. (2002). The potential role of small depressions as water storage features in the central Maya lowlands. *Latin American Antiquity*, 13(3), 343-357.
- Yamazaki, T. (2010). *Introduction to Environmental Archaeology*. Recuperado el 01 de 01 de 2014, de <http://www.nara.accu.or.jp/elearning/2011/introduction.pdf>
- Zetina Gutiérrez, M. d. (Agosto de 2007). Tesis de maestría. *Ecología humana de las rancherías de Pich, Campeche: un análisis diacrónico*. Mérida, Yucatán, México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida. Departamento de Ecología Humana.
- Zinck, J. A. (2012). *Geopedología*. Enschede, Países Bajos: ITC.
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). AE496 - Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar rigo excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *University of Florida, IFAS Extension*, 1-4.

8 APÉNDICE 1. UBICACIÓN DE LOS PERFILES. DATUM: ITRF92.



9 APÉNDICE 2. DISTRIBUCIÓN DE SUELOS EN EL SITIO DE ESTUDIO.

