

## CONCLUSIONES GENERALES

Considero importante haber realizado un trabajo sobre las características del subsuelo de la Península de Yucatán, ya que es una región poco estudiada en nuestro País, donde la densidad de población es la menor en la República con 3,223,862 habitantes, de la cual el 20.57% (663,262 h) se considera rural por habitar en 8,496 comunidades menores de 2,500 habitantes; los restantes 2,560,600 habitantes viven en 133 comunidades mayores de 2,500 habitantes; en una extensión de 138,000 km<sup>2</sup>.

El crecimiento poblacional ha sido exponencial en las últimas 2 décadas, debido a la migración de familias provenientes de ciudades y poblaciones del sureste, centro, occidente y norte de la República como: Villahermosa (Estado de Tabasco), Tuxtla Gutiérrez (Estado de Chiapas), Ciudad de México, Querétaro, Guadalajara (Estado de Jalisco) y Monterrey (Estado de Nuevo León); familias cuyo propósito es buscar una mejor calidad de vida, sobre todo económica así como la búsqueda de ciudades tranquilas y seguras. Esto es posible encontrarlo en varias ciudades en crecimiento en la Península de Yucatán, ya que estadísticamente se ha comprobado que en dichas ciudades se tiene la mejor calidad de vida, olvidando los problemas de las grandes metrópolis como violencia, contaminación, inseguridad, desempleo etc.

Debido a tal crecimiento poblacional los gobiernos locales, federales e inversión privada han decidido realizar infraestructura de gran magnitud para apuntalar esta región hacia la sustentabilidad que ofrecen ciudades planeadas, modernas, ecológicas etc. Para poder ser en un futuro un referente mundial que ya comienza a ser en estos años, debido a que es la región que mas turistas visitan anualmente (aproximadamente 5 millones de turistas), también ha sido sede de eventos internacionales financieros, políticos, sociales, culturales etc. Sobre todo en el litoral Cancún-Riviera Maya en el Caribe Mexicano.

Al existir inversiones en la región se ha impulsado la construcción exponencialmente, llegando ocupar a nivel mundial hasta el segundo lugar en construcción, solo después de la región de Dubai perteneciente a los Emiratos Árabes Unidos que lleva prácticamente una década ocupando el primer lugar en desarrollo de infraestructura y construcción en el mundo.

El impulso del crecimiento de infraestructura y la construcción, activa el desarrollo económico, político, cultural, y social de una región; la Península de Yucatán no es la excepción en cuanto a la generación de empleos, tal crecimiento, es un referente hoy en día en el país y en América Latina; por este motivo como se menciona en los párrafos anteriores muchas familias Mexicanas y extranjeras han decidido vivir en estas ciudades referentes de la Península de Yucatán como Mérida, Cancún, y la Riviera Maya con el objetivo de buscar una nueva calidad de vida que gracias a la poca competencia en el caso de los empresarios, bajo numero de profesionistas, intelectuales, personal especializado que hoy en día se concentra en la Península; contrastante con la gran necesidad de profesionistas, especialistas, proveedores, debidos al crecimiento, muchas familias han logrado alcanzar niveles de vida que solo pudieron encontrar en una región con gran necesidad de personas dispuestas a trabajar y hacer de la Península de Yucatán el centro económico mas importante del País.

La península de Yucatán cuenta con una historia milenaria, tiene una riqueza cultural y natural considerada por los expertos en el tema inigualable en todo el mundo, dicha riqueza comienza a ser estudiada para los nuevos proyectos del futuro. Siendo cuna de la cultura Maya, una de las más importantes en su tiempo, se ha despertado el interés de renacer tal grandeza en estos tiempos, la riqueza natural no se puede cuestionar, ya que existen gran cantidad de ecosistemas como selvas medias, manglares, zonas costeras, humedales, y gran diversidad de ecosistemas acuáticos en agua dulce y oceánicos. El mundo subterráneo de la Península de Yucatán es uno de los factores más estudiados en las últimas décadas, ya que debido al tipo de subsuelo compuesto por rocas calizas, se han encontrado verdaderos mundos subterráneos, muchos de los cuales, la ancestral cultura Maya ya los había explorado, incluso formando parte de su vida cotidiana, ya que eran explotados para la obtención de agua, muchos de ellos eran considerados las ventanas que dio la tierra para ingresar al “Xibalba” (“El Inframundo”), por lo que algunas de estas formaciones como cenotes y ríos subterráneos resultaban ser lugares sagrados donde se ofrecían sacrificios por los Mayas a sus dioses.

En efecto el subsuelo de la Península de Yucatán comienza a estudiarse en forma profunda por muchas disciplinas como la Ingeniería, la Antropología, Geología, Geografía, Biología etc. Ya que brinda gran cantidad de relevante importancia para todas estas disciplinas, considerando que hace millones de años la Península de Yucatán estuvo sumergida bajo las aguas del océano Atlántico y por ende existió vida marina. Los mantos acuíferos del subsuelo como se mencionó en el párrafo anterior, requieren una gran cantidad de estudios, debido a que aunque no existen corrientes superficiales, el subsuelo calizo que compone a la Península, el cual es muy permeable, ha generado la existencia de ríos subterráneos por toda la Península, de los cuales han sido descubiertos un porcentaje prácticamente nulo a los que realmente existen, además de los ríos subterráneos se han encontrado gran cantidad de cavernas y los llamados cenotes (cavernas con agua), grutas, formaciones creadas por un fenómeno llamado karsticidad que no es más que la reacción de la roca caliza formada por carbonatos con el agua (ya sea de lluvia o agua salina proveniente del océano o por el estancamiento de la misma al emerger la Península hace millones de años), dichas formaciones generan formaciones y paisajes únicos en el mundo siendo uno de los referentes de visitas turísticas y de investigación en la región.

En la Ingeniería Civil estas formaciones son los principales factores a considerar al cimentar una edificación en esta región, ya que como se estudió en esta tesis las características físicas y mecánicas del subsuelo aportan gran capacidad de carga, capaz de soportar presiones y esfuerzos de gran magnitud; sin embargo la posible existencia de una formación kárstica es motivo suficiente para efectuar estudios detallados del subsuelo donde será cimentada la estructura.

Este trabajo fue realizado con la intención de que los próximos Ingenieros que serán parte de las futuras construcciones en esta región, tengan nociones del tipo de subsuelo, historia geológica del mismo, zonificación, conocimiento de los mantos acuíferos, tipos de cimentaciones y problemas que se encontrarán al construir en la Península de Yucatán; por lo que el trabajo comenzó en el primer capítulo presentando la historia Geológica del subsuelo, donde se conocieron los procesos evolutivos que sufrió el subsuelo de la Península, las formaciones durante las eras geológicas antes y después de que emergiera del océano Atlántico, dichas formaciones en este primer

capítulo se estudiaron cuando estaban cubiertas por mares someros, situación que ocasionó que gran parte del subsuelo al emerger tuviera grandes cantidades de carbonatos, mismos que disuelven la roca al efectuarse una reacción química, siendo también importante mencionar el gran contenido de fósiles marinos que en muchas regiones contiene el subsuelo, al conocer los primeros procesos geológicos del subsuelo, se estudiaron las diferentes características físicas y químicas que éste a presentado a lo largo de los posteriores periodos evolutivos, en dichas propiedades físicas predomina el estudio de la denominada karsticidad, se define este término como el cambio y forma de relieve del subsuelo provocadas por disolución de la roca caliza al contener carbonatos y reaccionar con agua, este fenómeno es fundamental estudiarlo para conocer los subsuelos calizos de la Península de Yucatán, ya que la estabilidad de los subsuelos esta prácticamente en función del grado de karsticidad que presenta un subsuelo en esta región. En este primer capítulo se analizaron consiguientemente las formaciones kársticas comunes en subsuelo calizo como dolinas (cenotes), úvalas, cavernas, estalactitas, estalagmitas, columnas, ríos subterráneos etc. en dichos análisis se estudiaron los minerales, tipos de rocas, propiedades físicas, químicas, mecánicas, características kársticas de cada formación, grado de karsticidad y el conocimiento de su ubicación a través de mapas Geomorfológicos.

Conocidos todos los detalles relacionados con el subsuelo el presente trabajo en su segundo capítulo tomó un enfoque hacia el subsuelo en la actualidad, se estudiaron las características en la Geología actual, es decir los mismos procesos de estudio en el primer capítulo a los fenómenos kársticos, estratigrafía, mineralogía, características físicas, químicas etc. fueron aplicadas a la Geología Actual del subsuelo, ubicando los periodos y etapas evolutivas del subsuelo en mapas geomorfológicos estudiados en las últimas décadas; en este segundo capítulo se detectaron las principales formaciones de la Península relacionadas con la etapa kárstica en la que actualmente se encuentran analizando las formaciones de relieve existentes y sus propiedades, se estudió de igual forma el tectonismo de la región que prácticamente es nulo debido a que la Península de Yucatán se encuentra dentro de una placa llamada del Caribe y los límites de esta placa se encuentran lejos de la Península, el sistema fluvio palustre y litoral también fueron estudiados con detalle en este capítulo, ya que es de suma importancia conocer el tipo de mantos acuíferos existentes en el subsuelo, finalmente la región litoral es importante conocerla porque en la Península de Yucatán, sobre todo por las nuevas ciudades en crecimiento que actualmente son planeadas y edificadas en esta zona, lugares donde se construyen grandes edificios como complejos hoteleros, fraccionamientos, centros comerciales, vialidades etc.

En el tercer capítulo, el enfoque de la tesis se tornó de lo general a lo particular, es decir, en los primeros dos capítulos la geología fue general para toda la Península, a partir del tercer capítulo la región en estudio fue el litoral Cancún-Riviera Maya, región en donde se estudiaron las cimentaciones ejemplificadas en los capítulos posteriores de esta tesis. De igual forma que los primeros dos capítulos, el estudio geológico del subsuelo en esta zona litoral comprendió pruebas físicas y químicas, pero aplicadas a las principales ciudades de la Península como Mérida, Cancún, la isla de Cozumel y la denominada Riviera Maya.

En el capítulo consiguiente (capítulo cuarto) se mostraron diferentes pruebas de laboratorio a muestras del subsuelo calizo, dichas pruebas fueron elaboradas por instituciones de gran

prestigio en la región como Universidades y laboratorios especializados en este tipo de pruebas; dichas pruebas al subsuelo como pruebas de compresión, pruebas triaxiales, propiedades índice, pruebas a fuerza cortante, plasticidad de los subsuelos, granulometría etc. fueron estudiadas durante la carrera de Ingeniería Civil y su ejecución en la vida cotidiana es muy similar, se realizaron las conclusiones pertinentes para cada prueba y generalizando el subsuelo calizo resultó ser apto para la construcción como materia prima para elaborar cemento, tiene la resistencia permisible para utilizarlo como mampostería y para prácticamente toda la Península el subsuelo ofrece gran resistencia a compresión, lo que garantiza capacidades de carga que soportan perfectamente y con gran comportamiento la mayoría de las construcciones edificadas en la zona a través de cimentaciones superficiales en la mayoría de las veces; también se realizaron pruebas efectuadas a la roca caliza no consolidada denominada sascab donde se demostró que este material da buena estabilidad y resistencia como agregado para vialidades, carreteras y rellenos compactados.

Al presentar detalladamente como se realizan los estudios en laboratorio antes mencionados, en el último capítulo se presentaron ejemplos de cimentaciones reales efectuadas en la zona, cimentaciones que representan la gran mayoría de construcciones que se realizan en esta región litoral del Caribe, en dichos ejemplos se detalla el proceso constructivo a seguir, partiendo desde su planeación, sondeos de mecánica de suelos reales, hasta su ejecución en el campo; cabe resaltar que en este último capítulo se realizó una revisión del reglamento de construcción local, donde se enunciaron los artículos que se consideraron interesantes mencionar y comentar.

Este trabajo de tesis fue elaborado para obtener el título de Ingeniero Civil, el cual me llenará de orgullo gran satisfacción, ya que el esfuerzo realizado durante la carrera fue arduo, además me enorgullece grandemente ser egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, de igual forma siento un gran agradecimiento y cariño a la Facultad de Ingeniería que pertenece a esta gran institución, la máxima casa de estudios de mi País, institución a la cual estoy y estaré infinitamente agradecido por permitirme haber estudiado en sus aulas, esperando algún día poder aportar parte de mi capacidad a dicha casa de estudios y regresar un poco de lo mucho que me brindó; es importante mencionar mi agradecimiento a cada uno de los profesores que tuve la oportunidad de conocer en sus aulas, muchos de los cuales tienen además de un gran respeto, mi admiración, no solo por su calidad de enseñanza, sino como Ingenieros y personas, ya que son pilares que motivan a cada alumno a brindar su mejor esfuerzo y a ser mejores personas. La disciplina y presión ejercida durante la carrera me enseñaron a ser responsable, a tener tenacidad al realizar mis labores, aprovechar las oportunidades que la vida nos pone enfrente, y sobre todo asumir cualquier reto que se nos presente como Ingenieros y personas, ya que tenemos las herramientas necesarias para que en el futuro seamos los Ingenieros que construyamos un mejor País en todos los aspectos acompañados de toda la juventud que comparta este mismo espíritu.

Considero importante agradecer a mi familia quienes son la motivación principal de mis triunfos y también mi apoyo en mis fracasos, ya que gracias a mi Padre, Madre y Hermana tengo una educación fundamentada en valores familiares, mismos que plantaron valores morales y sociales, valores que proporcionan la mayor fortaleza que un ser humano pudiese tener, y estos a su vez siguen siendo un reflejo en mi vida y trayectoria escolar, esta última la cual considero brillante

gracias a esos cimientos fundamentados en casa. La disciplina ejercida por mis padres durante toda mi niñez y juventud al saturarme de actividades que muchas veces a mi corta edad no comprendía, sin embargo era mi obligación cumplirlas como lo son los estudios seculares, estudios de música en forma profesional, disciplina que requería mucha dedicación; hoy, aunque no soy músico profesional, lo agradezco grandemente. De igual forma las actividades deportivas, actividades culturales, creencias religiosas etc. fueron y siguen siendo elementos base de mi educación y hoy me doy cuenta de las cosas positivas que dejó en mi vida aprender, obedecer y aprovechar las oportunidades que en mi hogar se me brindaron, incluyendo el acato de las reglas en casa y disciplina; ya que con el paso del tiempo sé que todo lo que pude aprender en mi niñez será la base de lo que en el futuro realizaré y me harán una mejor persona y más competitiva en mi futuro laboral.

Finalizando estas conclusiones, espero que este trabajo pueda ser de gran utilidad a todos los compañeros que están interesados en conocer las características del subsuelo de la Península de Yucatán y que la información contenida en esta tesis aporte los conocimientos e información que muchos ingenieros buscan al tratar de conocer el subsuelo de esta región que comienza a ser parte fundamental del desarrollo del país y estoy seguro que en pocos años la Península de Yucatán, lugar donde tuve la oportunidad de vivir un par de años, será un referente mundial en calidad de vida, turismo, economía, y belleza natural.