

Caracterización del material calizo de la formación Carrillo Puerto en Yucatán

Ing. Jorge I. Pacheco Martínez¹, Lauro A. Alonzo Salomón¹.

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación que utilizó como elemento de estudio el material calizo predominante en el Estado de Yucatán, conocido regionalmente como sahcab, de uso más frecuente, en condiciones naturales, en la construcción de caminos, el cual fue obtenido de bancos situados alrededor de la ciudad de Mérida, así como de préstamos ubicados del Km. 158+160 al Km. 217+520 del camino de cuota Mérida – Cancún. Tanto la ciudad de Mérida como el tramo de carretera antes mencionado, están localizados sobre la formación geológica denominada “Carrillo Puerto,” lo que permite manejar en un solo conjunto los parámetros físicos de comportamiento del material obtenido al someterlo a pruebas de: granulometría, densidad de arenas, equivalente de arena, V.R.S., análisis químico y otras, todas estas recomendadas en las normas de materiales para la construcción de caminos. La investigación permitió obtener una clasificación definida del material estudiado así como sus límites de utilización en las Vías Terrestres.

Es pertinente señalar las limitaciones de este trabajo ya que el estudio se enfocó a solo dos zonas del Estado de Yucatán; en un futuro y con la experiencia adquirida en este estudio se pretende extender la investigación a otras zonas del Estado.

Palabras claves: material calizo, sahcab, normas, caminos, caracterización

INTRODUCCIÓN

Herederos de una gran cultura, que desarrolló importante tecnología en la construcción de los “sacbé” (camino blanco) en el Mayab, mediante procedimientos artesanales y dando el adecuado uso a los materiales de la región, los mayas construyeron en el pasado prehispánico una amplia red de caminos en la Península de Yucatán.

En la actualidad, la importancia de las vías en Yucatán, es debida a la dinámica integral del Estado, en el plano económico, agrícola, industrial, cultural, turístico y de servicios. Paralelo a este crecimiento y de acuerdo con el desarrollo actual, es necesaria una nueva administración del conocimiento, en el caso de las vías terrestres, el manejo y la

información de las características de los materiales más utilizados en la región para la construcción.

Desde el punto de vista geológico la Península de Yucatán en México es una unidad constituida por sedimentos calcáreos marinos del Cenozoico. Representa una extensa planicie que forma parte de la provincia geográfica de la Llanura del Golfo y del Caribe, con características morfológicas y estructurales bastante uniformes. Los sedimentos calcáreos constituyen una gran plataforma con bajas elevaciones sobre el nivel del mar, siendo la máxima la correspondiente a la Sierra Yucateca, con una altitud de 126 m. y extendiéndose dicha plataforma bajo las aguas del Golfo de México con una pendiente muy reducida, para formar el Banco de Campeche.

La dependencia que la construcción de las Vías Terrestres tiene con respecto a las

¹ Profesor de Carrera del Cuerpo Académico de Geotecnia y Vías Terrestres, FIUADY

características físicas del suelo es incuestionable. También es incuestionable que existen en la superficie de la tierra cientos de tipos de suelos cuyas diferencias dependen fundamentalmente de su origen geológico y de los efectos del clima y el ambiente. En este contexto el Estado de Yucatán es una de esas regiones donde prácticamente predomina un solo tipo de suelo, que tiene uso fundamental en la construcción, sobre todo en la de caminos.

Por otro lado, siempre ha sido preocupación de los constructores de caminos, caracterizar e identificar los suelos de sus respectivas regiones así como crear patrones y normas a las cuales se puedan sujetar dichos suelos, buscando con esto el mejor comportamiento de aquellos en las obras. De todo esto surgió la idea del presente trabajo considerando que, como se dijo anteriormente, en el Estado de Yucatán existe en abundancia un tipo de suelo, conocido localmente como sahcab y geológicamente como material calizo correspondiente a la formación Carrillo Puerto, cuyo uso es fundamental en la construcción de caminos, lo cual hace necesario identificarlo y obtener una generalización representativa de sus propiedades físicas para su mejor aprovechamiento y optimización. No se pretende cuestionar las normas nacionales e internacionales vigentes, sino verificar las propiedades del citado material y en su caso efectuar las correcciones y acotamientos necesarios al momento de ser sometido a las condiciones de trabajo.

A partir de sondeos exploratorios para investigación petrolera en esta región, se ha podido determinar que la plataforma, constituida por rocas cenozoicas que van del Paleoceno al Reciente,

descansa sobre formaciones plegadas pertenecientes al cretácico.

La superficie de la roca está formada con pocas excepciones, por una capa muy compacta cuyo espesor varía de 0 a 4.0 m alcanzando en ocasiones espesores mayores. Probablemente las condiciones de sedimentación en un ambiente epinerítico y de evaporación total contribuyeron al endurecimiento de esta capa respecto a las más profundas.

En gran número de cortes de caminos, bancos de materiales y otras excavaciones se observa un material friable, blanquecino, llamado "sahcab" que es una roca calcárea no consolidada, cuya consistencia parece indicar que el lodo calcáreo del cual procede se depositó como calcita y, por tanto, no ocurrió la recristalización de aragonita a calcita, proceso necesario para la consolidación de la roca. También se le denomina "sahcab" a algunas calizas y coquinas cretáceas de consistencia análoga a la mencionada.

El espesor del "Sahcab" usualmente observado es de 2 a 4 metros siendo en ocasiones menor ó mayor. Cuando se le localiza generalmente subyace a la capa superficial de caliza compacta, descansando sobre caliza suave. En unos sitios aparece interstratificado con capas delgadas de caliza como se observa en las paredes del cenote sagrado de Chichén Itzá y en otras localidades aflora en la superficie, como ocurre en una vasta región del sureste de la Península de Yucatán.

El subsuelo de la Península de Yucatán, consiste brevemente de calizas con un rango de edad del Eoceno-Paleoceno hasta el Holoceno-Pleistoceno conforme a la siguiente serie geológica (Tabla 1)

Tabla 1. Edades de las diferentes formaciones de la Península de Yucatán

Formaciones	Edad
Calizas con moluscos	Holoceno-Pleistoceno
Formación Carrillo Puerto	Plioceno-Mioceno superior
Formación Estero Franco	Plioceno-Mioceno superior
Formación Bacalar	Mioceno
Laguna Estratigráfica	Oligoceno
Formación Chichén Itzá	
Miembro Chumbec	Eoceno Superior-Eoceno Medio
Miembro Pisté	Eoceno Medio
Miembro Xbacal	Eoceno Inferior-Paleoceno (<i>i</i>)
Formación Icaiché	Eoceno-Paleoceno
Eoceno no diferenciado	Eoceno-Paleoceno (<i>i</i>)

La relación litológica de la anterior serie geológica para la formación Carrillo Puerto se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción geológica general de la Formación Carrillo Puerto

Series	Unidad Estratigráfica	Grosor Máximo, (m)	Litología
Plioceno - Mioceno	Carrillo Puerto	200	Coquinas y calizas amarillentas; con yacimientos internos arenáceos

METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación se desarrolló, adoptando la metodología que impone la descripción de las características físico mecánicas del material calizo que predomina en el Estado de Yucatán; con miras a proponer una identificación del mismo, en el contexto de la construcción de caminos, y el siguiente, es el procedimiento que se aplicó para obtener la información deseada:

- Localización y muestreo
- Pruebas de laboratorio.
- Resultados.

Localización y muestreo

En lo referente a estas primeras actividades, se tomó como base la distribución superficial de las unidades geológicas descritas con anterioridad, y siendo que la formación Carrillo Puerto correspondiente al Plioceno-Mioceno, es la que predomina en la Península de Yucatán y estando la ciudad de Mérida localizada sobre esta formación, así como el tramo Valladolid – X'can, del camino de cuota Mérida – Cancún se consideró que estudiando los bancos de materiales que se encuentran en la periferia de esta ciudad y algunos de los ubicados a lo largo del camino mencionado, se tendría una visión inicial del probable comportamiento del material calizo de Yucatán, en lo que se refiere a la Formación Carrillo Puerto.

Una vez definido el alcance del campo de trabajo se procedió a ubicar las áreas específicas donde se realizarían los muestreos, las cuales fueron:

- Bancos ubicados alrededor del periférico de la ciudad de Mérida.

- Bancos de préstamo ubicados del Km. 158+160 al Km 217+520 del camino de cuota Mérida – Cancún.

Así las muestras de material que se analizaron en el presente proyecto de investigación fueron obtenidas de los bancos señalados, siguiendo la presente metodología.

1. Ubicación de los bancos. (Figuras 1 y 2)
2. Número de muestras por banco (Tabla 3)
3. Cantidad de material obtenido. (100 Kg por muestra)
4. Profundidad de sondeo. (variable entre 1.0 y 3.0 m)
5. Método de excavación. (excavación pozo a cielo abierto, muestreo en la pared, y superficiales.)

Pruebas de laboratorio

Las pruebas que se realizaron al material calizo sahca para su identificación, fueron las siguientes:

- Granulometría. (tabla No 3)
- Límites de consistencia (tabla No.4)
- Equivalente de arena. (tabla No 4)
- Análisis químico. (tabla No 5)
- Valor cementante (tabla No 4)
- Contracción Lineal (tabla No 4)
- V.R.S. Estándar (tabla No 4)
- Peso Vol. Seco suelto (tabla No 4)
- Peso Vol. Porter. (tabla No 4)
- Humedad óptima (tabla No 4)
- Densidad de arenas (tabla No 4)
- Absorción de arenas (tabla No 4)

La Tabla 3 muestra el resultado del análisis granulométrico efectuado al material que se utilizó en el presente estudio, en ella se indica el banco de

procedencia así como los diferentes porcentajes que pasan la malla especificada.

Tabla 3. Resultados del análisis granulométrico efectuado al material calizo

Datos del muestreo			% que pasa la malla especificada							
Número	Banco	Muestra	3"	1 ½"	¾"	No. 4	No. 10	No.20	No.40	No.200
1	Teya	1	100	96	92	74	55	39	30	17
2		2	100	99	97	71	50	34	24	13
3		3	100	99	97	66	47	31	22	11
4	Cd. Blanca	1	100	98	96	82	66	50	49	20
5		2	100	96	93	78	68	56	45	21
6		3	100	94	90	65	54	43	34	18
7		4	100	95	91	63	45	32	24	10
8		5	100	92	87	58	40	30	24	14
9		6	100	100	99	95	86	72	60	33
10	Alexma	1	100	95	91	65	49	40	33	14
11		2	100	96	93	67	49	35	25	13
12	I. Benitez	1	100	98	96	88	78	65	51	26
13		2	100	97	93	68	56	42	31	15
14		3	100	99	97	68	48	33	23	10
15		4	100	95	91	68	53	39	31	16
16	km 158+160	1	100	98	88	69	61	54	47	36
17	km 161+780	1	100	93	90	63	54	45	36	23
18	km 162+300	1	100	88	75	54	48	43	38	32
19	km 162+880	1	100	89	80	39	31	25	20	13
20	km 168+860	1	100	92	72	42	32	26	21	16
Número	Banco	Muestra	3"	1 ½"	¾"	No. 4	No. 10	No.20	No.40	No.200
21	km 174+500	1	100	89	78	59	48	43	38	29
22	km 176+420	1	100	91	71	37	31	27	23	18
23	km 176+460	1	100	85	72	48	35	29	24	18
24		2	100	84	73	50	41	38	29	22
25	km 176+460	3	100	92	80	54	44	37	31	23
26		4	100	85	68	47	41	37	33	27
27	km 178+560	1	100	83	67	42	36	32	28	23
28	km 186+100	1	100	82	70	50	38	31	25	18
29		2	100	85	74	55	41	33	26	19
30	km 203+520	1	100	85	71	43	30	25	20	13
31	km 217+520	1	100	92	81	65	53	45	37	24
32		2	100	93	81	58	46	38	31	23

La tabla 4 ilustra los resultados de las diferentes pruebas de control de calidad realizadas al

material calizo sahcab, así como su clasificación por el método de la S.C.T.

Tabla 4. Resultados de las diferentes pruebas realizadas

Número	Banco	Muestra	V.R.S.	P.V.S.S.	P.V.P	W %	Ss	A %	L.L.	L.P.	IP	S.C.T.	C.L.	E.A.	V.C.
1	Teya	1	65.30	1290	1985	10.80	2.34	5.20	16.30	13.50	2.80	SM	1.00	59.50	9.40
2		2	70.20	1305	1997	9.20	2.20	4.95	15.40	11.20	4.20	SM	1.40	60.30	10.30
3	Cd. Blanca	1	78.60	1328	2047	11.30	2.13	7.50	18.20	15.60	2.60	SM	2.70	42.00	8.80
4		2	65.40	1401	2005	10.90	2.16	8.05	19.70	16.10	3.60	SM	2.10	39.30	7.90
5	Alexma	1	58.20	1420	2120	8.70	2.24	6.25	19.10	16.40	2.70	SM	2.90	68.00	7.20
6		2	65.30	1401	2048	8.40	2.15	5.80	20.70	17.10	3.60	SM	2.10	59.00	8.10
7	I. Benitez	1	67.80	1310	2065	12.20	2.19	7.05	21.90	17.2	4.70	SM	1.80	50.00	9.50
8		2	76.90	1452	1928	11.90	2.16	6.90	20.80	16.90	3.90	SM	2.20	56.00	10.10
9	km 158+160	1	58.80	1478	1956	12.60	2.16	4.0	29.30	21.70	7.60	SM	3.80	13.60	10.90
10	km 161+780	1	62.50	1364	1980	11.60	2.17	7.20	31.80	22.80	9.00	GC	4.40	19.10	18.60
11	km 162+300	1	58.80	1360	1877	11.70	1.82	11.07	18.30	15.30	3.00	GM	1.40	22.80	5.20
12	km 162+880	1	80.90	1389	1960	8.30	2.29	3.80	28.90	21.60	7.30	GC	3.70	17.80	17.90
13	km 168+860	1	176.50	1391	2041	8.90	2.26	5.66	17.50	15.90	1.60	GM	0.80	47.20	6.60
14	km 174+500	1	95.60	1454	1941	10.60	2.02	5.41	23.40	18.90	4.50	GM	2.10	28.30	4.30
15	km 176+420	1	55.10	1413	2029	8.8	2.20	4.20	19.0	16.90	2.10	GM	1.00	25.00	5.10
16	km 176+460	1	69.90	1402	2030	10.3	2.30	5.10	27.10	21.0	6.10	GM	3.00	20.70	12.90

Número	Banco	Muestra	V.R.S.	P.V.S.S.	P.V.P	W %	Ss	A %	L.L.	L.P.	IP	S.C.T.	C.L.	E.A.	V.C.
17		2	102.90	1427	2018	8.50	2.31	3.70	19.50	17.0	2.50	GM	1.00	24.30	5.90
18		3	128.7	1402	2126	8.40	2.32	3.12	26.40	20.50	5.90	GM	3.00	19.00	10.30
19		4	62.50	1255	1902	11.40	1.82	12.70	20.20	17.50	2.70	GM	1.30	26.40	17.50
20	km 178+560	1	73.50	1432	1989	9.70	2.02	9.20	21.80	17.40	4.40	GM	2.00	19.90	9.10
21	km 186+100	1	169.10	1734	2162	8.70	2.39	3.14	27.50	21.20	6.30	GC	3.00	27.70	17.50
22		2	172.80	1683	2145	8.10	2.44	3.75	27.0	21.0	6.00	GM	2.90	28.30	15.80
23	km 203+520	1	180.10	1489	2012	9.50	2.15	5.61	29.90	22.0	7.90	GC	3.90	21.90	27.50
24	km 217+520	1	138.70	1265	1811	14.30	2.04	7.35	20.10	17.30	2.80	SM	1.00	22.50	3.80
25		2	178.70	1571	2100	8.20	2.29	3.12	23.80	18.60	5.20	GM	2.50	50.80	21.70

Con el fin de determinar los componentes químicos del material, se efectuaron análisis de este

tipo a muestras tomadas de los bancos de materiales. La tabla 5 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5. Componentes químicos del Sahcab en %

MATERIAL SAHCAB Color marfil	MUESTRA 1 Banco Cd. Blanca	MUESTRA 2 Banco Alexma	MUESTRA 3 Banco Ing. Benítez
HUMEDAD A 150° C (g)	2,000	1,100	1,250
CARBONATOS DE CALCIO	76,680	84,100	79,200
CARBONATOS DE MAGNESIO	12,820	9,900	10,800
CARBONATOS TOTALES	90,000	89,500	94,000
SULFATOS	0,004	0,005	0,004
ARCILLA	2,250	1,780	1,710
SILICE	1,110	1,250	0,300
NITRATOS	0,004	0,004	0,003
CLORUROS	0,002	0,008	0,002
OXIDO DE FIERRO	0,080	0,010	0,004

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de interpretar de la mejor manera los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio efectuadas al material calizo sahcab se

realizó un análisis de los valores con base en términos estadísticos; así, para la prueba granulométrica se puede observar en la figura 3 los resultados obtenidos en cuanto a la distribución de las partículas del material sahcab para todas las pruebas efectuadas.

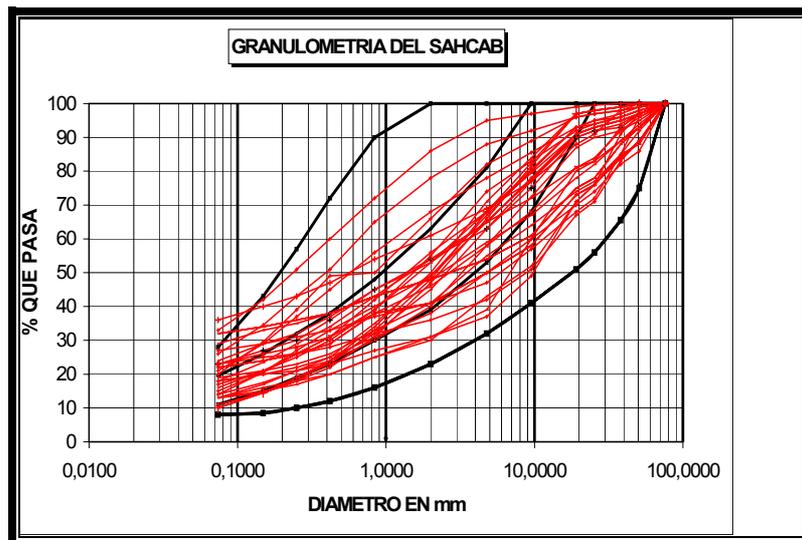


Figura 3. Resultados de las pruebas granulométricas

En la Figura 3 se observa que la distribución de los diferentes tamaños que conforman la muestra sigue una tendencia relativamente suave sin cambios bruscos de pendiente, alojándose la mayor parte de las curvas en las zonas 1 y 2, de las normas de calidad que especifica la S.C.T.

realizadas en los bancos de materiales descritos con anterioridad.

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis estadístico del material calizo sahcab para las diferentes mallas que componen su distribución granulométrica.

A continuación se analiza estadísticamente el conjunto de todas las distribuciones granulométricas

Tabla 6. Análisis estadístico de la granulometría del material sahcab investigado

	MALLA 3"	MALLA 2"	MALLA 1 1/2"	MALLA 1"	MALLA 3/4"	MALLA 3/8"	MALLA No.4	MALLA No.10	MALLA No.20	MALLA No.40	MALLA No.60	MALLA No.100	MALLA No.200
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Media	100.0000	95.8750	92.3438	86.9219	84.1875	71.3906	60.9688	48.5625	39.0313	31.6563	27.3750	23.6563	19.6250
Error de la media	.0000	.7068	.9510	1.6030	1.8308	2.2902	2.4759	2.3070	1.9482	1.7498	1.5045	1.3182	1.1962
Mediana	100.0000	97.0000	93.0000	90.5000	87.5000	73.7500	63.0000	48.0000	37.5000	30.5000	26.0000	21.0000	18.0000
Moda	100.00	97.00	85.00	76.00	91.00	57.00	65.00	41.00	43.00	24.00	26.00	14.50	13.00
Desviación estandar	.0000	3.9980	5.3798	9.0679	10.3564	12.9551	14.0057	13.0506	11.0205	9.8982	8.5109	7.4568	6.7669
Varianza	.0000	15.9839	28.9425	82.2276	107.2540	167.8344	196.1603	170.3185	121.4506	97.9748	72.4355	55.6038	45.7903
Rango	.00	14.00	18.00	28.50	32.00	48.00	58.00	56.00	47.00	40.00	34.00	27.50	26.00
Valor mínimo	100.00	86.00	82.00	71.00	67.00	49.00	37.00	30.00	25.00	20.00	17.00	14.50	10.00
Valor máximo	100.00	100.00	100.00	99.50	99.00	97.00	95.00	86.00	72.00	60.00	51.00	42.00	36.00

Tratando de buscar que los resultados de la tabla No.6 sean lo más significativos posibles se procedió a aplicar la metodología de control estadístico de la **distribución t de Student** (para muestras pequeñas) con la finalidad de buscar un intervalo de confianza de la forma:

$P [| t | > t_0] = P$ para la distribución antes señalada, con un 95% de confiabilidad. La Tabla 7 y la Figura 4 ilustran los resultados obtenidos al aplicar la fórmula estadística antes mencionada, a los resultados de la tabla No. 6.

$$m - t_0 \frac{S}{\sqrt{n-1}} \leq \mu \leq m + t_0 \frac{S}{\sqrt{n-1}}, \quad \text{tal que:}$$

Tabla 7. Intervalos de confianza para la distribución t de Student con un 95% de confiabilidad calculados con los datos de la Tabla 6

	MALLA 3"	MALLA 2"	MALLA 1 1/2"	MALLA 1"	MALLA 3/4"	MALLA 3/8"	MALLA No.4	MALLA No.10	MALLA No.20	MALLA No.40	MALLA No.60	MALLA No.100	MALLA No.200
Valor de la distr. t al 95%	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
Valor mínimo	100	94	90	84	80	67	56	44	35	28	24	21	17
Valor máximo	100	97	94	90	88	76	66	53	43	35	31	26	22

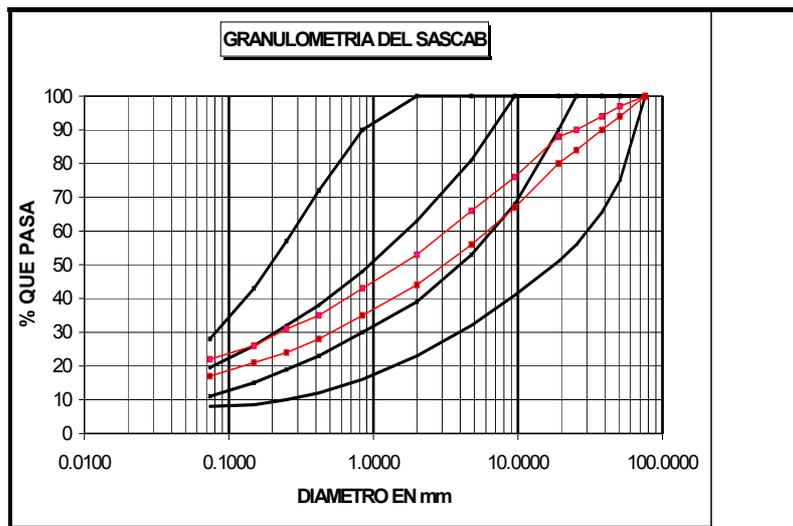


Figura 4. Gráfica de los intervalos de confianza indicados en la Tabla 7

La Tabla 8 muestra los resultados del análisis estadístico efectuado al material calizo sahcab para las diferentes pruebas índice.

Tabla 8. Análisis estadístico de las pruebas índice realizadas al material calizo sahcab

	V.R.S.	Peso V. Seco S	Peso V. Proctor	W %	Ss	A %	L. Líquido	L. Plástico	C. Lineal	Equivalente de arena	Valor cementante
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media	96.5120	1416.6400	2010.9600	10.1200	2.1828	5.9932	22.5440	18.0240	2.2800	34.7760	11.2760
Error de la media	9.0413	22.8283	16.8624	.3378	3.052E-02	.4881	.9320	.5736	.2068	3.3265	1.1968
Mediana	73.5000	1402.0000	2012.0000	9.7000	2.1900	5.6100	20.8000	17.3000	2.1000	27.7000	9.5000
Moda	58.80	1401.00	1811.00	8.40	2.16	3.12	15.40	16.90	1.00	28.30	10.30
Desviación estandar	45.2065	114.1413	84.3122	1.6889	.1526	2.4404	4.6600	2.8681	1.0340	16.6325	5.9841
Varianza	2043.6286	13028.2400	7108.5400	2.8525	2.328E-02	5.9555	21.7159	8.2261	1.0692	276.6411	35.8094
Rango	125.00	479.00	351.00	6.20	.62	9.58	16.40	11.60	3.60	54.40	23.70
Valor mínimo	55.10	1255.00	1811.00	8.10	1.82	3.12	15.40	11.20	.80	13.60	3.80
Valor máximo	180.10	1734.00	2162.00	14.30	2.44	12.70	31.80	22.80	4.40	68.00	27.50

Si analizamos ahora los componentes que integran el suelo sahcab de acuerdo a la tabla No.5, obtenemos la figura No. 5, la cual nos da una idea de

los diferentes contenidos mineralógicos de las muestras de suelo calizo investigado.

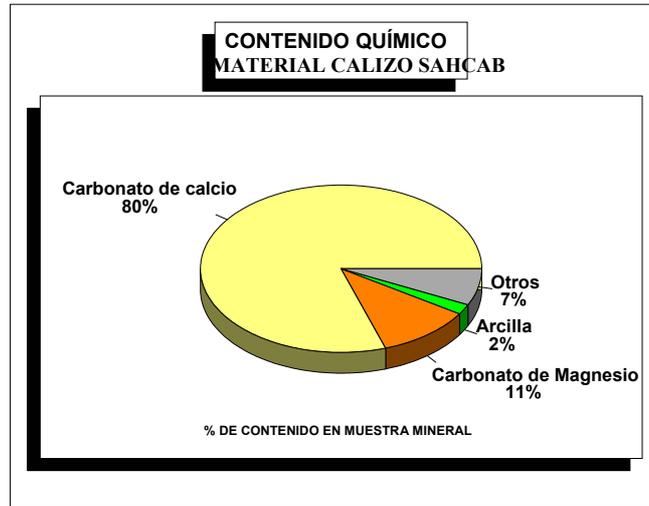


Figura 5. Contenidos químicos del material sahcab estudiado

De la Figura 5 podemos observar que el sahcab está compuesto básicamente por Carbonatos de calcio en un 80% y de carbonato de Magnesio en un 11% resultando esto en un 91% de Carbonatos, representando solamente un 2% el contenido promedio de arcilla. De las pruebas químicas se pudo determinar que la humedad promedio del material calizo sahcab a 150° C es de 1.450 g así mismo materiales como: sulfatos, sílice, nitratos, cloruros, óxido de hierro, representan tan solo en promedio un 7% del contenido mineralógico del SahaCab.

Con base en los datos de la Tabla 8 presentada anteriormente, y aplicando la fórmula estadística ya citada se obtuvieron los intervalos de confianza para las diferentes pruebas que se realizaron al material calizo, utilizando la distribución t de Student con un 95% de confiabilidad, esto con la finalidad de conocer mejor el comportamiento probable del sahcab.

Las Figuras 6 a 10 y 12 a 15 muestran las cartas de control estadístico de las pruebas efectuadas al material estudiado, incluyendo el intervalo de confianza correspondiente.

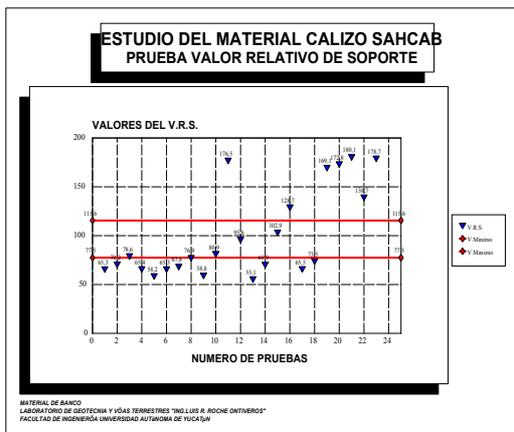


Figura 6. Carta de control estadístico De la prueba V. R. S.

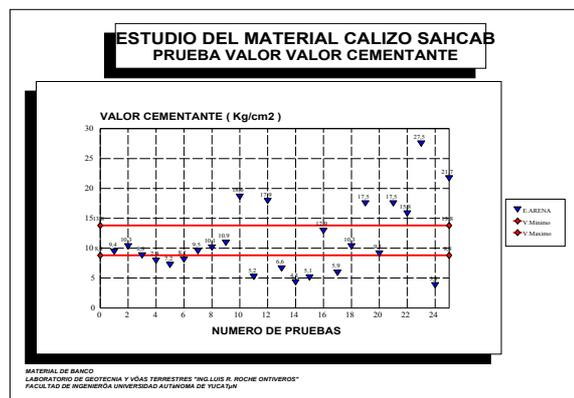


Figura 7. Carta de control estadístico de la Prueba V. C.

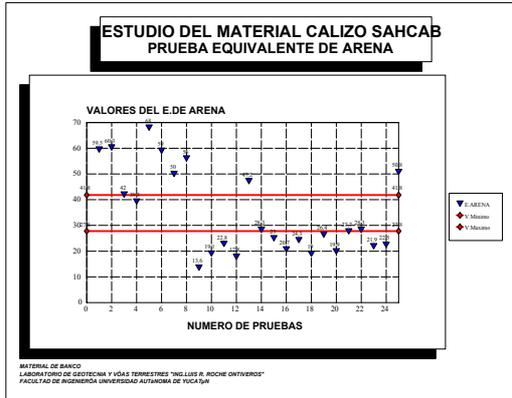


Figura 8. Carta de control estadístico De la prueba E. de A.

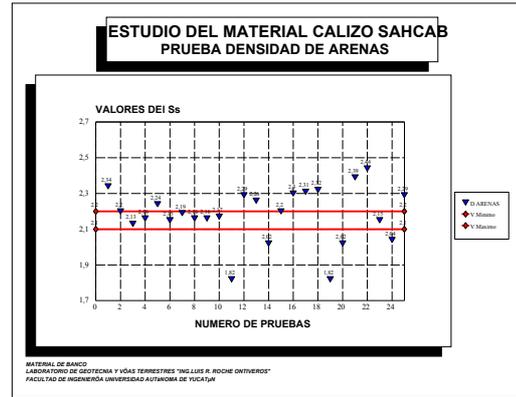


Figura 9. Carta de control estadístico de la prueba Ss

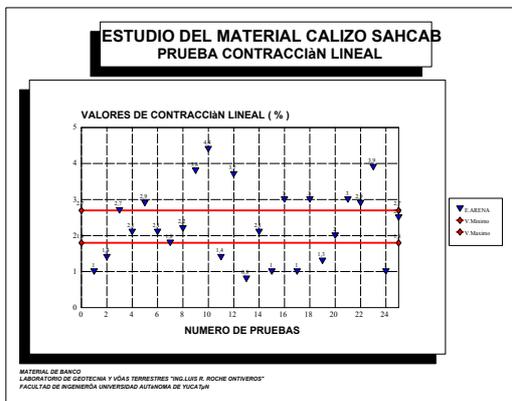


Figura 10. Carta de control estadístico De la prueba C. L.

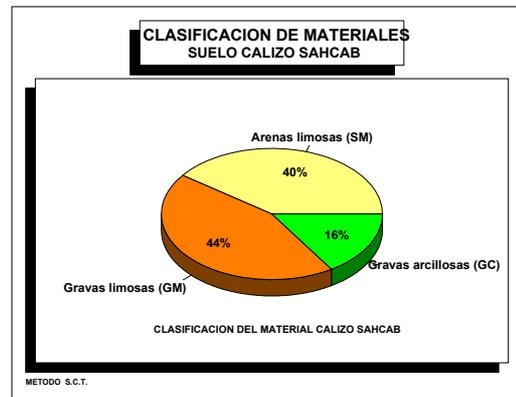


Figura 11. Clasificación del suelo

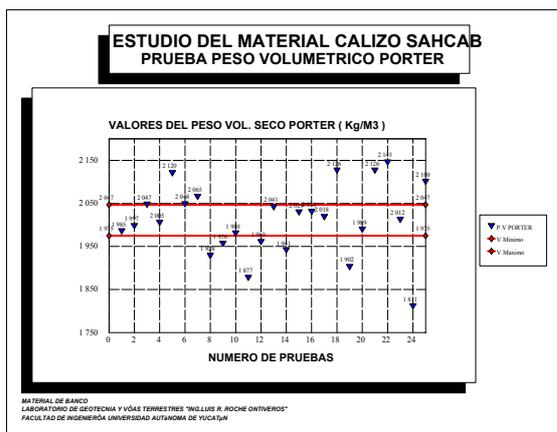


Figura 12. Carta de control estadístico de la prueba P. V. S. P.

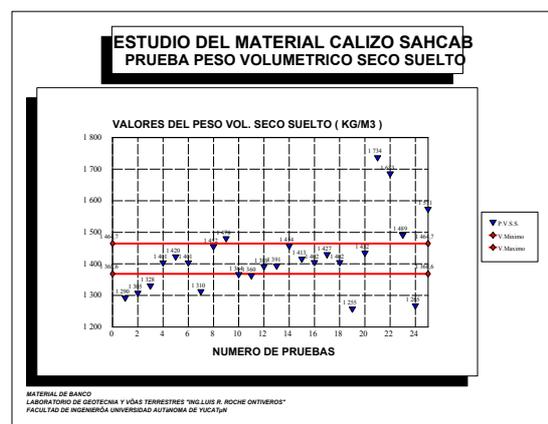


Figura 13. Carta de control estadístico de la prueba P. V. S. S.

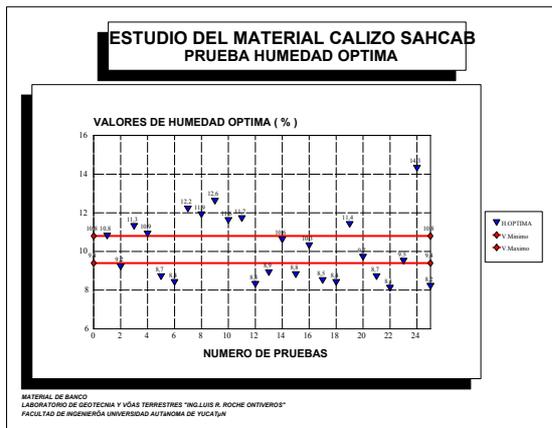


Figura 14. Carta de control estadístico de la prueba W

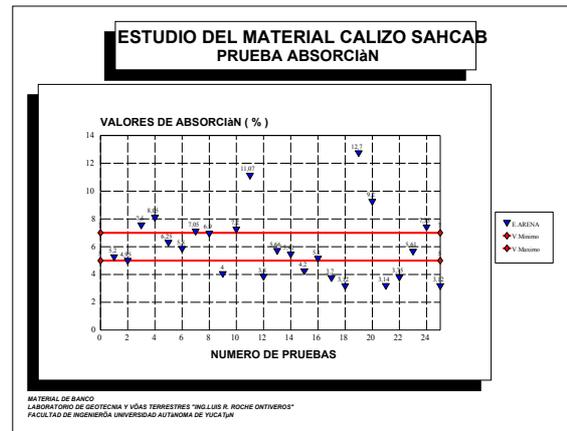


Figura 15. Carta de control estadístico de la prueba A

La finalidad de presentar cartas de control estadístico de los resultados del material sahcab cuando se le somete a pruebas de laboratorio es la de dar un primer paso hacia un proyecto de especificaciones regionales en cuanto al uso del material calizo.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de granulometría, límite líquido e índice plástico, se puede concluir que el material sahcab estudiado, conocido geológicamente como roca caliza no consolidada, le corresponde la clasificación de arena limosa (SM.) en un 40% de las veces, grava limosa (GM) en un 44% de las veces y grava arcillosa (GC) en un 16 % de las veces, según el sistema de clasificación que utiliza la S.C.T. Esta clasificación está representada en la Figura 11.

En cuanto a las granulometrías obtenidas, de acuerdo al libro primero, capítulo XCI, *MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUBBASES Y BASES DE*

PAVIMENTOS inciso 91-03.2 de las *ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN*, parte octava de la S.C.T. y de los resultados observados en la figura No.3 estos no tienen cambios bruscos de pendiente y se alojan casi en su totalidad en las Zonas No. 1 y 2, de dichas normas lo que nos da un material bueno para subrasante y sub-base. Los intervalos de confianza de la t de Student representados en la figura No. 4 para la granulometría confirman lo anterior.

En cuanto a las pruebas Contracción lineal, Valor cementante y Valor relativo de soporte la Tabla 9 nos muestra una comparación entre las especificaciones que el libro primero, capítulo XCI, *MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUBBASES Y BASES DE PAVIMENTOS* inciso 91-03.2 de las *ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN*, parte octava de la S.C.T. muestra para los materiales que su gráfico granulométrico se aloja en la zona 2 y los resultados que se muestran en la Tabla 8, para el valor mínimo y el valor máximo.

Tabla 9. Contraste entre especificaciones y resultados del suelo calizo

Característica o Prueba de calidad	Especificación para Súb-base (parte octava , S.C.T.)	Material calizo estudiado Valores mínimo y máximo
Valor relativo de soporte, (%)	50 mín.	Entre (55.1 y 180.1)
Valor cementante, (Kg/cm ²)	3.0 mín.	Entre (3.8 y 27.5)
Contracción lineal, (%)	4.5 máx.	Entre (0.8 y 4.4)
Equivalente de arena, (%)	20 mín.	Entre (13.6 y 68.0)

De la Tabla 9 se puede observar que en todas las pruebas *valor relativo de soporte, valor cementante y contracción lineal* efectuadas el material estudiado cumple con lo señalado en la especificación. En la prueba *equivalente de arena* el rango de valores nos muestra que el valor mínimo obtenido está por debajo del mínimo especificado, sin embargo esto solo se obtuvo en cuatro muestras analizadas, lo que nos dice que el material calizo analizado es altamente recomendable para usarse en capas de revestimiento y subbases en la construcción de caminos y carreteras, cuando sus características tengan valores comprendidos dentro de las especificaciones señaladas.

Por otro lado el bajo contenido de contaminación orgánica y la baja plasticidad que se encontró, garantiza un material estable sin excesivas deformaciones futuras ni cambios de volumen, situación que se ratifica con el bajo contenido de arcilla encontrado en las pruebas de tipo químico que se realizó, y las pruebas de contracción lineal.

Para la construcción de bases de pavimentos, el material sahcab no se recomienda por lo general; sin embargo, dado que la curva granulométrica promedio del material estudiado muestra una adecuada distribución de los materiales (ver Figura 4) de acuerdo a las normas y especificaciones vigentes y dado el rango de valores del V.R.S., si éste da un resultado mayor al 80 % , dicho material se puede recomendar como capa base en caminos de bajo tránsito.

Es justo recordar que los resultados y propuestas que se recomiendan para el material sahcab en el presente estudio, se obtuvieron en base a un tipo de material calizo del cual se reportan sus propiedades índice, por lo tanto las presentes recomendaciones no compara a aquellos materiales cuyas características quedan fuera de los rangos estadísticos obtenidos y analizados en el presente artículo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta C. (1993) Caracterización de las propiedades mecánicas de los suelos de la región noreste de la península de Yucatán, Monografía, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán
- Bowles J. (1982), Propiedades Geofísicas de los Suelos, McGraw Hill.
- C.F.E. (1965), Investigación sobre el comportamiento de suelos granulares y muestras de enrocamiento., Reporte técnico México.
- Juárez , E., Rico, A. (1986), Fundamentos de Mecánica de Suelos, tomo I., Edit. Limusa, México.
- Herrera I. (1976), Ecuaciones Constitutivas de los Suelos., Publicación 370 Instituto de Ingeniería UNAM.
- Lambe, T., Whitman, R. (1981), Mecánica de Suelos, Edit. Limusa, México.
- El subsuelo de la Península de Yucatán, Geología de la península, Memoria de la VI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, México, D.F 1972
- Estudio del material calizo para su aprovechamiento en la construcción de carreteras de Yucatán Memorias XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Puebla, Pue., México, 1998
- Rico, A., Del Castillo, H. (1978), La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres., Edit. Limusa, México.
- Secretaría de obras publicas, actual S.C.T. (1973), Especificaciones generales de construcción, parte octava, México D.F.