

# Estabilización de sahcab con cemento Pórtland Tipo I para la construcción de pisos en viviendas rurales

María de Lourdes Payán Arjona<sup>1</sup>

## RESUMEN

Las viviendas del medio rural del estado de Yucatán no cuentan con un piso que proporcione condiciones de habitabilidad e higiene a sus habitantes. Debido a esto surge la necesidad diseñar un piso utilizando como materiales componentes el sahcab y el cemento Pórtland Tipo I. La mezcla obtenida se pretende utilizar en la elaboración de pisos en viviendas rurales de Yucatán. El estudio analiza el sahcab de dos bancos cercanos a la Ciudad de Mérida, y que podrían representar al sahcab, de la región.

El sahcab extraído de los bancos se sometió a pruebas de clasificación y compactación; se mezcló con cemento entre 6 y 12 % en peso del mismo, para determinar su resistencia a la compresión simple (7 y 28 días) y su durabilidad mediante las pruebas humedecimiento-secado-cepillado.

El Banco No.1 resultó ser de naturaleza limosa y el Banco No. 2 arcillosa.

Los valores de resistencia a la compresión simple para el Banco No. 1 superan los 75 Kg/cm<sup>2</sup>, para porcentajes de cemento arriba del 10 %; en el Banco No. 2 para esos mismos porcentajes de cemento se alcanzan 70 Kg/cm<sup>2</sup>; en cuanto a las pérdidas por cepillado en ambos Bancos se observa una disminución de la pérdida con el incremento del porcentaje de cemento.

Finalmente se presentan tablas y gráficas para las diferentes pruebas que se realizaron al sahcab, cemento y mezcla. El estudio se limita al diseño de la mezcla óptima y la determinación de sus propiedades sin atacar la construcción de los pisos en el medio rural.

**Palabras clave:** Sahcab, Cemento Pórtland Tipo I, Resistencia a la Compresión Simple, Durabilidad, Pérdidas por Cepillado, Mezcla Sahcab-Cemento, Limosa, Arcillosa, Suelo-Cemento, Compactación, Pruebas de Humedecimiento-Secado-Cepillado..

## INTRODUCCIÓN

La población del Estado de Yucatán se localiza en las ciudades principales del Estado tales como Mérida, Ticul, Progreso, Valladolid, Tizimín, Izamal, etc., pero también una gran parte habita el medio rural.

La población del medio rural presenta rezagos, en cuanto bienes y servicios comunes para los habitantes de las modernas zonas urbanas, como

la ciudad capital; uno de esos servicios es el de la vivienda.

Cuando nos trasladamos al medio rural es común encontrar viviendas humildes de paja y maderas de la región. Sus condiciones no son las adecuadas para la vida humana, puesto que en ellas no existe un ambiente de higiene y salud. El medio rural tiene muchas carencias propias de la región, como son servicios médicos, alimentación adecuada, empleos dignos, educación, etc. y relacionando este medio con el estudio realizado las viviendas carecen de un piso digno, ya sea de concreto u otro material;

<sup>1</sup> Profesor de Carrera del Cuerpo Académico del Instituto Tecnológico de Mérida.

en ellas el piso es de tierra y representa una incomodidad para los que habitan la vivienda.

Datos proporcionados por el INEGI revelan que 47,000 viviendas (17.4%) no cuentan con un piso de concreto, lo que ocasiona problemas de salud e higiene a sus habitantes.

En fechas recientes el Gobierno Estatal comenzó un programa encaminado a dotar de pisos de concreto simple a las viviendas humildes del medio rural, pero todavía no se logra abatir el problema.

En este aspecto, se empezó a trabajar en un proyecto cuyo objetivo es el diseño de una mezcla que suplantará a los pisos de concreto, y a desarrollar la tecnología de autoconstrucción que ayude a la población de escasos recursos a mejorar las condiciones de habitabilidad de sus viviendas. Conociendo la situación de los pisos de las viviendas del medio rural; este trabajo propone la utilización de pisos hechos a base de una mezcla de sahcab y cemento, que tenga una adecuada resistencia propia, para el tipo de piso de la región. La mezcla propuesta es del tipo Suelo Cemento como se conoce en términos de Mecánica de Suelos. Se le proporciona rigidez por la aplicación de una compactación dinámica con el fin de obtener la resistencia mínima de un concreto para pisos igual a  $75 \text{ kg/cm}^2$ . Para la mezcla se utilizó cemento Pórtland tipo I y el sahcab (coquina alterada), que es un tipo de suelo abundante en la región, el cual se presenta como roca calcárea no consolidada y que se escogió por su abundancia en toda la región norte y centro de la Península de Yucatán.

Como se ha mencionado con anterioridad el problema a resolver es la obtención de un piso, para utilizarse en las viviendas del medio rural en el Estado de Yucatán; que consiste en el diseño de una mezcla óptima de sahcab-cemento, que reúna las características de resistencia y durabilidad similares a las de un concreto simple, utilizado en los pisos de las viviendas, para proporcionar más higiene y habitabilidad a su población.

Desde la época de los mayas, la población utiliza para la construcción de sus caminos un material de color blanco amarillento y en ocasiones con tonos café, conocido con el nombre maya de SAHCAB, que geológicamente es producto de la alteración de calizas que afloran en toda la península; dada las carencias de los pisos en sus viviendas y la presencia de este material en la región podemos decir que:

- Debido a la buena resistencia que presenta este material, y a la abundancia de él en el Estado de Yucatán, (Reyes, 1987), este estudio logra una mezcla que suplantará a los pisos de concreto, calcreto o ladrillo utilizando sahcab y cemento Pórtland.
- Con esta mezcla se reducen costos de construcción por la disminución del costo de los materiales y se logra un piso que proporciona características similares a las de un concreto simple.
- Se encamina este proyecto a colaborar con los programas de mejoramiento de la vivienda rural implementado por el Gobierno del Estado y orientado hacia la autoconstrucción.

Esta investigación se fundamentó en los Métodos de la Asociación Americana de Cemento Pórtland (P.C.A.) para tratamientos de suelos con Cemento en Proyectos importantes (De la Fuente Lavalle, 1995).

Es definitivo que el comportamiento de los materiales utilizados en esta investigación de una manera individual son conocidos; pues tanto el suelo denominado sahcab como el cemento han sido estudiados. Podemos decir que las propiedades del sahcab, mejoran cuando se le aplica una energía de compactación y se obtiene un aumento en el peso volumétrico seco, al cual le corresponde una humedad óptima. El sahcab, en nuestro medio es un material clasificado como arena o grava limosas y arcillosas; es utilizado para la construcción de bases y sub-bases de pavimentos debido a la buena resistencia que presenta a la penetración.

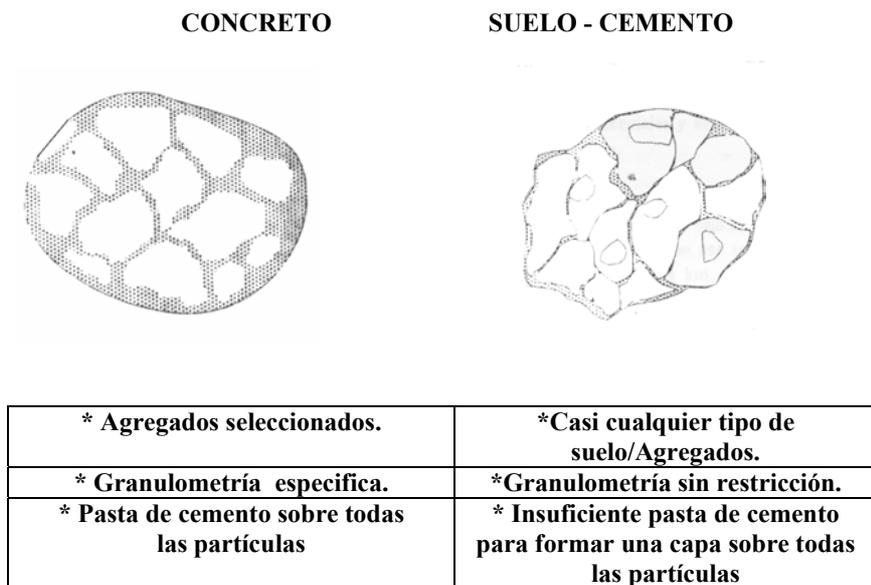
El cemento Pórtland es otro material, que ha sido estudiado. Algunas de sus propiedades físicas son muy conocidas y existe una Norma que rige tanto sus propiedades como su proceso de fabricación.

La unión de estos dos materiales, sahcab y cemento, juntamente con el agua, define una mezcla nueva, cuya definición específica (Zapata., 1990) es la siguiente: Suelo Cemento es una mezcla íntima, compacta y endurecida de suelo, cemento y agua en proporciones establecidas previamente a través de una dosificación racional, ejecutada de acuerdo a las normas aplicables. También podemos definirla como la combinación, compactación y curado de una mezcla suelo/agregado, cemento Pórtland, posiblemente aditivos y agua para formar un material endurecido con propiedades técnicas específicas (Zapata, 1990).

El suelo cemento difiere del concreto de cemento Pórtland en varios aspectos; uno de ellos y el más significativo es la manera en que los agregados o las partículas de suelo se mantienen unidas. En el concreto la mezcla contiene la pasta de cemento suficiente para adherirse en una capa al área superficial de todos los agregados y llenar los vacíos; en las mezclas de suelo cemento la pasta de cemento es insuficiente para formar una capa sobre todas las partículas, lo que da como resultado una matriz de cemento que aglomera los módulos de material no cementado. Otra de las diferencias es el tipo de granulometría, ya que en el concreto, esta debe ser específica y con un porcentaje mínimo de finos; en los suelos no existen restricciones de granulometría y los contenidos de finos pueden variar entre 5 y 35 %. Generalmente se prefieren suelos granulares sobre los arcillosos, para realizar la mezcla suelo cemento, porque se pulverizan con mas facilidad y requieren menos cemento para lograr la resistencia y la durabilidad requeridas. En la figura 1 se muestran

algunas diferencias entre el concreto y el suelo-cemento. Otro de los aspectos que se considera importante mencionar, es el de las reacciones físico-químicas de la pasta de cemento con el suelo. La reacción química se produce en función de las características de los agentes químicos que existen en la mezcla, de sus concentraciones, del tiempo, tipo de suelo, tipo de agua, tipo de cemento, curado y de los aditivos usados.

La reacción del cemento y la arcilla no se puede considerar como la reacción de cementante con material inerte, ya que la arcilla reacciona y cambia durante el proceso. En algunas ocasiones la mezcla de cemento altera la estructura interna de los minerales de la arcilla (De la Fuente Lavalle, 1995). La combinación del suelo, cemento y agua genera dos reacciones. La primera reacción es la del cemento mismo; la formación de un mortero por hidratación y formación de un esqueleto con el componente arenoso del suelo.



**Figura 1. Secciones transversales simplificadas que comparan la distribución de las pastas de cemento para el suelo cemento endurecido y el concreto.**  
**Pórtland Cement Association . Publicado el ACI Concrete Internacional**

La segunda reacción con la arcilla sucede en tres fases. En la fase 1 la hidratación del cemento provoca la formación de capas de cemento en la

superficie de la arcilla aglomerada; la cal liberada durante la hidratación del cemento reacciona inmediatamente con la arcilla y se consume

rápidamente, la arcilla sufre una degradación. En la fase 2 progresa la hidratación y esto activa la degradación de los aglomerantes de arcilla, por lo que penetran en las capas de cemento. Para la fase 3 los aglomerantes de la arcilla y cemento interpenetran unos con otros y la hidratación persiste pero se vuelve lenta. De las dos reacciones se obtienen tres tipos de estructuras : una estructura arenosa inerte ligada al cemento, la segunda es de arcilla estabilizada y una tercera que es de tierra no estabilizada.

En realidad la estabilización no afecta a todos los componentes del suelo, crea en total una estructura que envuelve y forma puentes entre la arena y la arcilla contenida en el suelo (Piazsesi, 1990).

En el suelo cemento la relación agua cemento se obtiene de diferente manera que en un concreto convencional. El diseño del suelo cemento no depende de esta relación, la relación de agua apropiada depende de la elaboración y trabajabilidad que se desee obtener en la mezcla.

La textura y el color de una mezcla de suelo cemento es la misma que la del suelo utilizado, en los suelos granulares la estructura es similar exceptuando que se forman vínculos entre los gránulos y las partículas de cemento rellenan los huecos entre ellos. En los suelos arcillosos o finos acontecen las reacciones que se mencionaron en párrafos anteriores.

### METODOLOGÍA

En la presente investigación, dos son los parámetros principales que se midieron, la resistencia a la compresión simple y la durabilidad; por considerar que ambos nos proporcionarían la información necesaria para poder llevar este proyecto al campo y comparar nuestro material con el concreto simple. Sin embargo para llegar a determinarlos tuvimos que realizar antes ciertas pruebas a los materiales individuales (sahcab y cemento) y a la mezcla conocida como Suelo-Cemento o Sahcab-Cemento.

La metodología que se siguió es la siguiente:

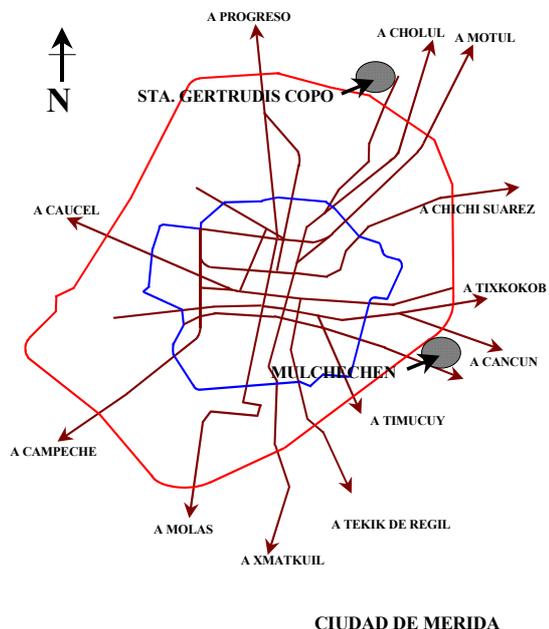
- Muestreo y preparación del sahcab.
- Pruebas de Clasificación en el sahcab
- Pruebas de Compactación para determinar el Peso Volumétrico Máximo y la Humedad óptima del sahcab.
- Pruebas al Cemento.

- Pruebas a la Mezcla de Sahcab-Cemento.

En los pasos para realizar la investigación se muestrearon dos bancos de sahcab, localizados ambos en la periferia de la Ciudad de Mérida; estos bancos se eligieron considerando que ambos aportarían las propiedades adecuadas para la investigación. En el momento en que se muestrearon estaban en explotación por parte de sus propietarios; el primer banco estudiado se denomina “Santa Gertrudis Copó” y es una propiedad particular ubicada en el norte, en una Hacienda del mismo nombre; en lo sucesivo se denominara Banco No. 1. El segundo banco cuyo nombre es “Mulchechén”, es propiedad del Gobierno Estatal y se localiza en las cercanías de la Ciudad de Mérida, en una población llamada Kanasín.

En los dos bancos el muestreo se hizo en forma manual por medio de pico y pala, las muestras se tomaron de los montículos localizados en las zonas de explotación de ese momento. En el banco No. 1 se extrajeron cinco muestras y en el banco No. 2 seis; cada muestra de 80 Kg. aproximadamente.

En la figura 2 se muestra la localización de los dos bancos estudiados.



**Figura 2. Localización de los bancos de sahcab**

Las pruebas que se realizaron a los diferentes materiales como sahcab, cemento y a mezcla sahcab-cemento siguieron las Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) vigentes

en cada caso y como apoyo se tomaron los manuales de pruebas de laboratorio de Concreto y Suelos de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para poder trabajar con muestras representativas se realizó el cuarteo del suelo (ASTMC702-93) y su preparación para las diferentes pruebas.

A cada una de las muestras de sahcab se les realizaron las siguientes pruebas con la finalidad de clasificarlas y determinar su peso volumétrico seco máximo y su humedad óptima :

1. Prueba de Granulometría (ASTMC136)
2. Límites de Consistencia.
3. Prueba de Compactación Próctor (ASTMD558).

El análisis granulométrico consistió en separar y clasificar por tamaños los granos que componen el suelo utilizando para ello mallas o tamices con diferente aberturas, la norma utilizada para esta prueba es la ASTMC136 .Las mallas utilizadas son las siguientes : 2”(50.8 mm), 1 ½”(38.1mm), 1”(25.4 mm), ¾”(19.1mm), 1/2”(12.7 mm), 3/8”(9.5mm), No.4 (4.76 mm), No.10 (2.00mm), No.16 (1.19 mm), No.30 (0.59mm), No.50 (0.297 mm), No.60 (0.25mm), No.100 (0.149 mm) y la malla No.200 (0.074mm).

Los límites de consistencia que se determinaron son el límite líquido y el plástico. La finalidad de estos, es la de clasificar el suelo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

La compactación en el sahcab se realizó a las muestras extraídas de los dos bancos estudiados, en esta prueba se determinó la humedad óptima y el peso volumétrico máximo alcanzado con una energía de compactación de 6 Kg-cm/cm<sup>3</sup>, obtenida al utilizar un molde cuyas dimensiones son de 10.05 cm de diámetro y 11.715 cm de altura, el peso del martillo fue de 2.5 Kg y la altura de caída de 31.5 cm. Se compactó entres capas con un total de 24 golpes aplicados por capa .

Al cemento Pórtland utilizado se le realizaron las siguientes pruebas : densidad, peso volumétrico suelto, consistencia normal y tiempo de fraguado. Para la realización de estas pruebas se tomaron las normas ASTM C188-44, ASTMC29-60,ASTMC187-55 Y ASTMC191-58.

En la mezcla de sahcab cemento se realizaron las siguientes pruebas:

- Compactación Próctor (ASTM D558).
- Resistencia a la Compresión Simple (ASTM D1632 Y ASTMD 1633).
- Pruebas de Humedecimiento-Secado-Cepillado (ASTMD559).

En esta investigación las pruebas en la mezcla nos sirvieron para determinar sus propiedades mecánicas y su durabilidad. Antes de determinarlas se procedió a realizar la prueba de compactación en la mezcla de manera similar a la del sahcab, la cantidad de cemento se hizo variar entre 6 y 12 % en peso del sahcab. La cantidad de agua adicionada se fue incrementado hasta lograr un peso volumétrico máximo con la energía suministrada a la mezcla.

La resistencia a la compresión simple se realizó en probetas cilíndricas construidas con los diferentes porcentajes de cemento entre 6 y 12 %, a edades de 7 y 28 días, la teoría que se utilizó en esta prueba es la de Mohr-Coulomb. Para la construcción se utilizó el siguiente procedimiento:

1. El contenido de agua óptimo para preparar los cilindros de sahcab-cemento se obtuvo de la prueba de compactación de la mezcla, usando el porcentaje requerido para obtener el peso volumétrico seco máximo.
2. Se compactaron las muestras de suelo cemento en los moldes de compactación, se niveló su superficie. Se construyeron probetas de cada porcentaje de cemento, que se denominaron con las letras A, B, C y D
3. Se extrajeron las muestras del molde y se colocaron en un cuarto de curado. Después de construidas las muestras se esperaba entre 45 y 50 minutos, contados desde el momento en que se preparó la mezcla para descimbrarlas.
4. El curado de los cilindros se llevó a cabo cubriendo los cilindros con mantas húmedas de yute.
5. Cuando llegó el tiempo especificado para la prueba ( 7 o 28 días) se procedió a pesarlas y medirlas ( diámetro y altura promedio), para después colocarlas en la máquina decompresión simple y proceder a la falla.

Las probetas A y B se fallaron a los 7 días y las C Y D a los 28 .

6. En el momento de la falla se llevó un registro de la carga aplicada y la deformación. La resistencia se obtuvo al dividir la carga aplicada entre el área de la probeta corregida en cada incremento de carga.

Las Pruebas de Humedecimiento-Secado-Cepillado se realizaron en la mezcla sahcab cemento simulando las fuerzas de tensión y compresión que se generan en el interior de la mezcla debidos a cambios de humedad.

- ❖ Para realizar las pruebas se utiliza la especificación ASTM D 559. La prueba tiene dos variantes, A y B; en este trabajo se utilizó la B que es para suelos que no contengan partículas que se retengan en la malla No.4 (4.76 mm).
- ❖ Para la construcción de las probetas se utilizaron los mismos equipos que en la prueba de compresión simple y además otros como cepillo de alambre y hornos de temperatura constante

El procedimiento que se siguió es :

1. Se construyeron probetas de cada porcentaje de cemento con la humedad óptima correspondiente, para obtener el peso específico máximo. Estas probetas se denominaron A y B. La probetas A sirvieron para determinar la pérdidas por cepillado y las B el cambio de volumen.
2. Se desmoldaron, y se procedió a pesarlas y medirlas marcando los puntos donde se tomaron los diámetros y las alturas para obtener valores promedios.
3. Seguidamente se colocaron en el lugar de curado y permanecieron durante 7 días.
4. Al sacarlos del cuarto de curado nuevamente se pesaron y midieron sus diámetros y alturas promedio en los mismos lugares que en el paso 2.
5. Se procedió a saturar por inmersión en agua las muestras cilíndricas, durante un periodo de 5 horas, después de las cuales se extrajeron se pesaron y midieron.

6. Las muestras saturadas se colocaron en el horno a una temperatura de 71°C durante un periodo de 42 horas.
7. Posterior al secado se pesan y miden las muestras, la A se somete al cepillado con un cepillo de alambre, al cual se le aplica una fuerza de 1.36 kg pasando 2 veces por el mismo sitio de la muestra cilíndrica, las muestras B se someten a saturación y secado y sirven para determinar los cambios de volumen.
8. Este procedimiento de humedecimiento, secado y cepillado se repite para las muestras A durante 12 ciclos( paso 5 a 7).
9. Las muestras denominadas B solamente se someterán a saturación y secado.
10. Después de concluidos los 12 ciclos se secan las muestras en el horno a 100 ° C hasta tener un peso constante.

Para determinar la pérdida en peso de las muestras se determinan los pesos secos, haciendo las correcciones relacionadas con el agua de hidratación. La pérdida en peso de las muestras se expresa en porcentaje y se denomina pérdida por cepillado del suelos cemento.

## RESULTADOS

Las pruebas de clasificación realizadas a las muestras de sahcab de los dos bancos se presentan en las tablas 1 y 2. Los resultados de las pruebas de compactación realizadas al sahcab se muestran en las tablas 3 y 4.

Las pruebas realizadas al cemento Pórtland marca Maya Tipo I , arrojaron los siguientes resultados:

- Densidad promedio del cemento Maya Tipo I igual a 3.097 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso volumétrico suelto promedio del cemento 1094 kg/m<sup>3</sup>
- Humedad correspondiente a la consistencia normal de una pasta de cemento 24.4 %
- Tiempo de fraguado inicial y final de 45 y 80 minutos

MUESTRA No.	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE CONSISTENCIA			(S.U.C.S.)
	GRAVA %	ARENA %	FINOS %	LÍQUIDO %	PLÁSTICO %	ÍNDICE PLÁSTICO	
1	48	39	13	15	14	1	GM
2	53	34	13	10	6	4	GM
3	30	48	22	26	8	18	SC
4	37	44	19	25	16	9	SC
5	35	47	18	25	15	10	SC

Tabla 1. Resumen de las características de granulometría y límites de consistencia de las muestras provenientes del Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)

MUESTRA No.	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE CONSISTENCIA			(S.U.C.S.)
	GRAVA %	ARENA %	FINOS %	LÍQUIDO %	PLÁSTICO %	ÍNDICE PLÁSTICO	
1	29	28	43	35	12	23	GC
2	35	36	29	32	4	28	SC
3	26	41	33	37	21	16	SC
4	42	32	26	36	23	13	GC
5	34	31	35	31	27	4	GM
6	33	35	32	34	19	15	SC

Tabla 2. Resumen de las características de granulometría y límites de consistencia de las muestras provenientes del Banco 2 (Mulchechén)

MUESTRA No.	PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA ω opt. (%)
1	1780	10.8
2	1725	11.9
3	1755	14.2
4	1770	15.0
5	1790	14.5

Tabla 3. Valores del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para las muestras del Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)

MUESTRA No.	PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA ω opt. (%)
1	1805	15.4
2	1850	13.5
3	1800	15.5
4	1858	14.1
5	1820	14.5
6	1820	15.0

Tabla 4. Valores del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para las muestras del Banco 2 (Mulchechén)

En las tablas 5 y 6 se presentan los resultados de las pruebas de compactación de la mezcla sahca cemento.

Las pruebas de resistencia a la compresión simple de la mezcla de sahca cemento se presentan

en las tablas 7 y 8, estos valores también se presentan en las gráficas 1 y 2. La gráfica 3 es una comparativa de la resistencia a la compresión simple de la mezcla de sahca cemento para los dos bancos a los 28 días.

PORCENTAJE DE CEMENTO	PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA $\omega_{opt.}$ (%)
6	1850	13.8
7	1785	14.4
8	1780	14.2
9	1840	15.0
10	1810	15.0
11	1835	13.8
12	1790	14.5

**Tabla 5. Resultados del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para la mezcla de sahca – cemento en el Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)**

PORCENTAJE DE CEMENTO	PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA $\omega_{opt.}$ (%)
6	1750	15.7
7	1750	16.0
8	1738	16.5
9	1765	16.7
10	1760	16.8
11	1792	16.3
12	1763	16.1

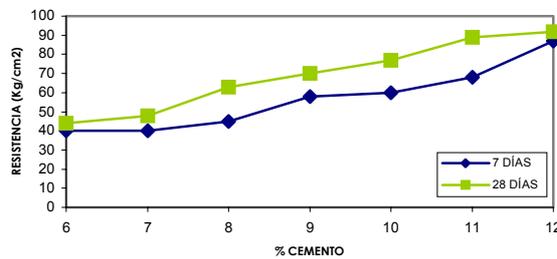
**Tabla 6. Resultados del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para la mezcla de sahca – cemento en el Banco 2 (Muldechén)**

% CEMENTO	7 DÍAS		28 DÍAS	
	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PESO VOLUMÉTRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PESO VOLUMÉTRICO (Kg/m <sup>3</sup> )
6	40	1982	44	1980
7	40	1990	48	1974
8	45	1978	63	2029
9	58	2015	70	2027
10	60	2035	77	2028
11	68	1931	89	1986
12	87	2009	92	2007

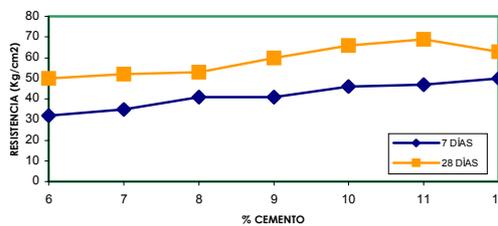
**Tabla 7. Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión simple de los cilindros probados a 7 y 28 días en el Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)**

% CEMENTO	7 DÍAS		28 DÍAS	
	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PESO VOLUMÉTRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PESO VOLUMÉTRICO (Kg/m <sup>3</sup> )
6	32	1994	50	1999
7	35	1983	52	1993
8	41	1996	53	1994
9	41	1985	60	2000
10	46	2016	66	2010
11	47	2011	69	1994
12	50	1997	63	1995

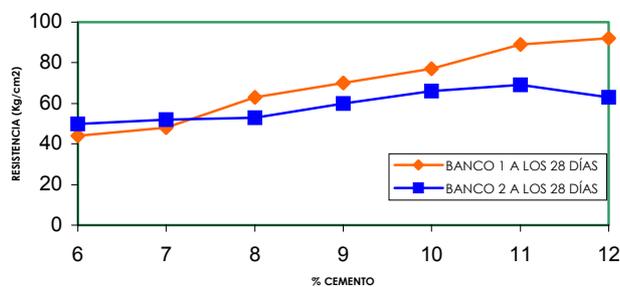
**Tabla 8. Resultados de las pruebas resistencia a la compresión simple de los cilindros probados a los 7 y 28 días en el Banco 2 (Mulchechén)**



**Gráfica 1. Resultados de las pruebas de compresión simple a los 7 y 28 días para la mezcla sahcab-cemento del Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)**



**Gráfica 2. Resultados de las pruebas de compresión simple a los 7 y 28 días para la mezcla sahcab-cemento del Banco 2 (Mulchechén)**



**Gráfica 3. Comparativa de la resistencia a la compresión simple de la mezcla sahcab-cemento para los dos bancos estudiados**

En cuanto a las pruebas de durabilidad los resultados obtenidos de las pruebas de humedecimiento-secado –cepillado ( pérdidas por

cepillado ) se presentan en las tablas 9 y 10. La gráfica No. 4 muestra una comparativa de las perdidas por cepillado de los dos bancos estudiados.

**ESPECIMEN A**

% CEMENTO	Wi (%)	WA gr.	Wadi gr.	Wadc gr.	Waf gr.	WBr (%)	L(%)
6	15.0	1894	1646.96	1600.58	1643	2.65	2.82
7	16.0	1902	1639.66	1610.89	1656	2.80	1.75
8	16.0	1887	1626.72	1596.66	1646	3.09	1.85
9	16.5	1919	1647.21	1618.42	1683	3.99	1.75
10	17.0	1935	1653.85	1623.25	1695	4.42	1.85
11	14.5	1865	1628.82	1607.42	1664	3.52	1.31
12	17.5	1923	1636.60	1626.62	1706	4.88	0.61

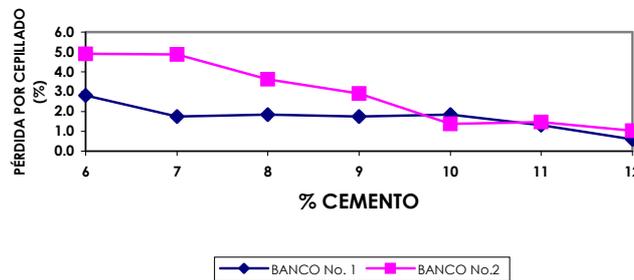
**Tabla 9. Pérdidas por cepillado de la mezcla sahcab - cemento para el Banco 1 (Santa Gertrudis Copó)**

**ESPECIMEN A**

% CEMENTO	wi (%)	WA gr.	Wadi gr.	Wadc gr.	Waf Gr.	WBr (%)	L(%)
6	17.0	1885	1611.11	1531.92	1550	1.18	4.92
7	18.0	1867	1582.20	1504.95	1551	3.06	4.88
8	18.0	1842	1561.02	1504.53	1545	2.69	3.62
9	19.0	1862	1564.71	1519.40	1570	3.33	2.90
10	18.5	1912	1613.50	1591.07	1610	1.19	1.39
11	18.0	1831	1551.69	1528.84	1564	2.30	1.47
12	18.5	1916	1616.88	1600.16	1628	1.74	1.03

**Tabla 10. Pérdidas por cepillado de la mezcla sahcab - cemento para el Banco 2 (Mulchechén)**

**COMPARATIVA DE LA PÉRDIDA POR CEPILLADO DE LA MEZCLA SAHCAB-CEMENTO**

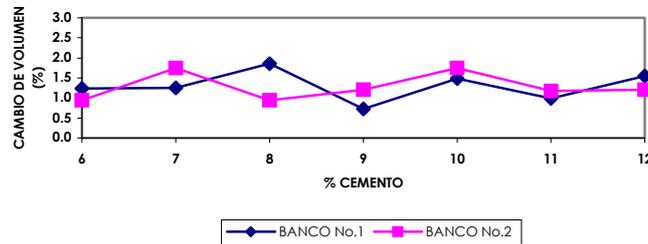


**Grafica 4. Comparativa de la pérdida por cepillado de la mezcla sahcab - cemento para los bancos 1 y 2**

En la gráfica 5 se presenta el cambio de volumen observado en los especímenes B de la mezcla de sahcab cemento, obtenidos al llevar a cabo

la prueba de saturado y secado en los dos bancos bancos estudiados.

COMPARATIVA DEL MÁXIMO CAMBIO DE VOLUMEN  
DE LA MEZCLA SAHCAB-CEMENTO



Gráfica 5. Comparativa del máximo cambio de volumen de las muestras de sahcab - cemento para los dos bancos estudiados

## DISCUSIÓN

En esta investigación nos planteamos un objetivo ; este se alcanza , ya que pudimos obtener una mezcla de sahcab-cemento con características de resistencia y durabilidad similares a las de un concreto simple utilizado en pisos.

De las muestras analizadas en los dos bancos podemos decir lo siguiente: el sahcab resultó ser arenas arcillosas(SC), arenas limosas(SM), gravas arcillosas(GC) y gravas limosas(GM). El banco No. 1 “Santa Gertrudis Copó” es de características limosas, en él los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la compresión simple se refiere, arrojaron valores mayores a los 28 días que en el banco No.2 “Mulchechén”; ya que este contiene mayor cantidad de finos plásticos los cuales originaron una disminución de la capacidad de la mezcla para absorber los esfuerzos de compresión a los que se sometieron. Con el aumento de los finos se aumenta el área específica a cubrir por la pasta de cemento, lo que origina la disminución de la resistencia.

En el rango de valores de cemento estudiados (6 y 12%) los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión simple variaron directamente con el incremento de cemento.

La durabilidad se determinó a través de las pruebas de humedecimiento secado y cepillado, utilizando como medida de referencia las pérdidas por cepillado, expresada en porcentaje, esta varió en forma inversa con el aumento de cemento.

La durabilidad tiene como límite un 10 % de pérdida por cepillado(De la Fuente Lavalle, 1995) ,los resultados obtenidos en el banco No. 1 alcanzaron un máximo de 2.82% para valores de cemento de 6%; y

0.61% para un 12 % de cemento. En el banco No. 2 , esta resultó de 4.92% para el 6% y 1.03 % para el 12 % de cemento.

Si tomamos en cuenta los resultados para ambos bancos en cuanto a resistencia y durabilidad podemos concluir que en aquellos con características limosas se alcanzaron mejores resultados para los dos parámetros.

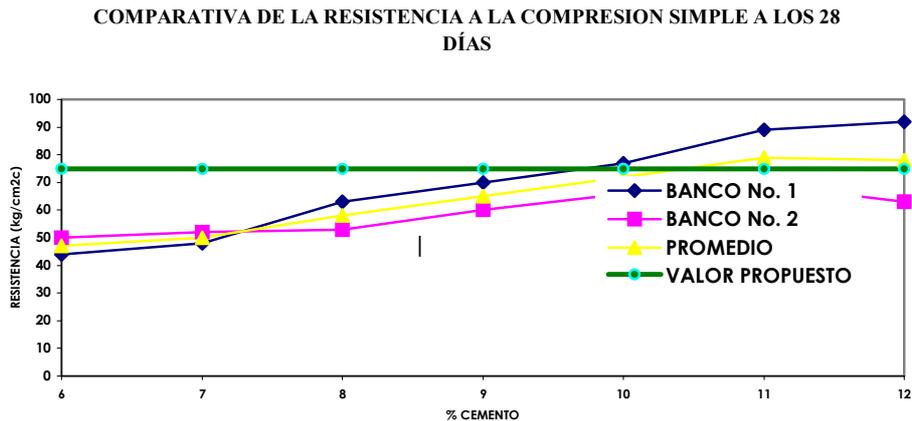
En términos generales el material estudiado presenta las características de resistencia similares a las de un concreto simple ; pero la superficie no es del todo impermeable por lo que se recomienda colocarle en la superficie superior un mortero de los mismos materiales.

Podemos concluir que el porcentaje de cemento en peso del sahcab para el banco No. 1, con el cuál se logran resistencias de 75 kg/cm<sup>2</sup> o mayores es de 10 %, con una pérdida por cepillado de 1.85 %; si se desea lograr menores pérdidas se incrementa la cantidad de cemento; pero también se podría evitar colocando el mortero mencionado. En el banco No. 2 el porcentaje para lograr la resistencia es mayor a 12 % con una pérdida por cepillado menor al 1.03 %. Se recomienda para obtener mejores resultados utilizar sahcab con finos no plásticos, similares al banco No. 1.

La utilización de esta mezcla(sahcab-cemento) en las viviendas como piso, lograría mejores condiciones de higiene y salud en las viviendas rurales. Además si consideramos que el sahcab, se encuentra en diferentes puntos del estado, e inclusive en la superficie del suelo, resultaría económico para la población pues la inversión sería mínima.

Debido a los resultados obtenidos presentados en este trabajo se recomienda utilizar el sahcab –cemento para la construcción de pisos, tratando de utilizar sahcab con finos no plásticos y tomando como referencia la gráfica 5 A. Se sugiere hacer las pruebas de campo para verificar los métodos de compactación de campo y la metodología de autoconstrucción. Es posible que con la orientación y

el apoyo de las autoridades las viviendas del medio rural mejoren en cuanto a los pisos y servicios. El material propuesto para lograr un piso con características similares a las de un concreto simple para utilizar en las viviendas del medio rural es apto, y es posible con él lograr un piso económico, resistente y durable.



**Gráfica 5a. Comparativa de la resistencia a la compresión simple de la mezcla sahcab-cemento a los 28 días para los dos bancos estudiados, así como el valor promedio y el valor propuesto**

### RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de Mérida y en especial a las autoridades del

Departamento de Ciencias de la Tierra, las facilidades prestadas para la realización de las pruebas de laboratorio; así como el apoyo económico para tal fin.

### REFERENCIAS

1. De la Fuente Lavalle Eduardo, “ Suelo-Cemento, Usos, Propiedades y Aplicaciones”, México, 1995, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., pp9, 19, 20, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 39, 45, 48, 49, 56, 57.
2. American Standards for Testing and Materials “ Annual Book of A.S.T.M. Standards” , USA, ASTM Publications, Vol 4, Cement & Agregates, 1992.C 188-95, C29/29 M-97, C187-86, C191-92, C40-97, C702-93, C136-96 a, D-558-82, D559-82, D560-82, D1632-87, D1633-84, D4318-84.
3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, “Censo de población y vivienda 1995, Resultados Definitivos, Tabulados Básicos”, México 1995, Ediciones del INEGI, tomo II, Vivienda, pp465, 840.
4. Comisión Nacional del Agua, “ Manual de Ensayes de Mecánica de Suelos”, México, 1990, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA.
5. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, “ Manual de pruebas de laboratorio de concreto”, México, Ediciones de la S.C.T., 1976.

6. Crespo Villalaz Carlos, “Mecánica de suelos y Cimentaciones”, Editorial Limusa, México 1994.
7. Fernández Loaiza Carlos, “Mejoramiento y Estabilización de Suelos”, Editorial Limusa, México 1982.
8. Lambe T. William, “Mecánica de Suelos”, Editorial Limusa. México 1993.
9. Dirección General de Servicios Técnicos, Oficina de Estudios y Asesoría de los Institutos Tecnológicos, “Instructivo para efectuar Pruebas en Materiales de Pavimentación”, Apoyo didáctico, Vol. 2, México, 1981.
10. Reyes Acosta Víctor M, “Estudio del Sahcab como material básico en los caminos de Yucatán”, México, 1987, Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Mérida, Ingeniería Civil, ITM, pp7-16.
11. Chalé Tepal José Jediael, “Diseño de un Mortero Sahcab-Cemento para Pisos de Viviendas Rurales”, México, 2000, Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Mérida, Ingeniería Civil, ITM.
12. ACI Materials Journal, “State-of-the-Art Report on Soil Cement”, Committee Report ACI 230.1R, Vol 87 No.4 July-August 1990, pp 395-397, 402-403.
13. Piazzesi Di Vallimosa Francesco, “Suelo Cemento Industrializado”, Revista de Construcción y Tecnología, México, artículo publicado en Marzo, 1990, pp14, 18,20.
14. Zapata M. Blanca Helena, “Suelo- Cemento ensacado”, Asociación Colombiana de Productores de Cemento, ICPC, Revista de Construcción y Tecnología, México, 1990, artículo publicado bajo la asesoría técnica de la Asociación Brasileña del Cemento Pórtland, pp. 6-11.
15. Sánchez Mora Raúl, “Viejos Materiales” Revista de Construcción y Tecnología, México, artículo publicado en Marzo, 1990, pp7-13.
16. Hallack Abdo, Dutra de Carvalho Marcos, “Recomendaciones para la Construcción y el Control de Obras de Suelo- Cemento en sacos”, Boletín de Ingeniería del Departamento Técnico del ICPC, artículo publicado en ICPC No. 52, Enero-Marzo, 1991, pp9-12.