



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA/Área de la
Energía, las Industrias y los Recursos No Renovables

TITULO DE TESIS

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA
FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE,
PROPUESTA METODOLÓGICA**

AUTOR: Ing. Dans Ernesto Vilela Mora

DIRECTOR: Ing. Mgsc. Jorge Gahona Pacheco

FECHA: Marzo del 2010.

LOJA - ECUADOR

**INGENIERO CIVIL, MG. SC. JORGE GAHONA PACHECO, DOCENTE
INVESTIGADOR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

CERTIFICA:

Que el Sr. Ing. Dans Ernesto Vilela Mora, realizó la investigación de la Tesis de Maestría **"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE, PROPUESTA METODOLÓGICA"** bajo mi dirección y asesoría y una vez cumplida su consolidación, sistematización y análisis de resultados, así como esclarecidas las observaciones e incorporadas las sugerencias, autorizo su presentación por cumplir con los requisitos exigidos para estudios de cuarto nivel por parte de la universidad nacional de Loja.

Loja, Mayo de 2010.

.....
Ing. Jorge Gahona Pacheco

AUTORIA:

Las ideas, propuestas y metodología vertidas en la presente tesis de grado son el resultado de la experiencia adquirida en los diferentes momentos de análisis y desarrollo para proceso de elaboración de adobes estabilizados con cemento, por tanto asumo la responsabilidad de las mismas.

Ing. Dans Ernesto Vilela Mora

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de la gratitud al Ing. Jorge Gahona Pacheco, Director de Tesis, por haber confiado en mí, por haberme dado su apoyo oportuno tanto en lo intelectual como en la parte humana ya que eso hizo posible culminar el presente trabajo.

En igual manera reconocer en la Universidad Nacional de Loja y en el Instituto Antonio Echeverría de la Abana – Cuba el haber aportado con la logística y el mejor equipo humano de profesores y profesionales para cristalizar nuestra formación de cuarto nivel.

A los profesores de la Maestría en Construcción Civil y Desarrollo Sustentable mención: Vivienda de Interés Social, en especial al Dr. Julio Henández Caneiro y Dr. Cecilio Acosta Valle que de una forma generosa y enormemente transparente supieron compartir sus conocimientos a tal grado que despertaron en mí la necesidad de concentrarme desde lo local en esta investigación.

También agradezco a mis compañeros que al comprender el alcance de la presente me apoyaron con material y experiencias de mucho valor.

EL AUTOR

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido la vida, a mis Padres; Dagoberto Vilela y Nubia Mora, porque siempre se han mantenido incondicionales y han estado pendientes de no faltarme con su guía.

A mis hijos Dans Fernando y Juan Pablo que son la brújula en la cual mi pensamiento con sano orgullo se orienta cuando abaten a la orilla los momentos de vacilación.

A mis Hermanos porque para mí son sinónimo de esfuerzo, ellos tienen como bandera la superación y a cada momento; me atraen a seguir aquella senda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
	PORTADA	i
	CERTIFICACION	ii
	AUTORIA	iii
	AGRADECIMIENTO	iv
	DEDICATORIA	v
	RESUMEN/ABSTRACT	1
	INTRODUCCIÓN	5
	CAPITULO I: MARCO TEÓRICO, ESTADO DEL ARTE, DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA Y POSTURA DEL INVESTIGADOR	16
1.1	CAMPO DE INVESTIGACIÓN. ESTADO DEL ARTE	17
1.1.1.	El suelo como material de construcción	17
1.1.2	Ventajas y propiedades de la tierra en la edificación	20
1.1.3	La estabilización del suelo	21
1.2	EFFECTOS E IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN	32
	CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN PRIMARIA DEL SUELO OBJETO DE ESTUDIO	34
2.1.	INTRODUCCIÓN.	35
2.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS INDICADORES (DE CAMPO).	36
2.3.	APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE CAMPO A LA MUESTRA DE SUELO TOMADA DE LA FÁRICA ELEGIDA.	50
2.4.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO QUE RESULTE IDONEO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO.	50
2.4.1	Ensayos de granulometría	50
2.4.2.	Ensayos de límites de consistencia (Atterberg)	53
2.4.3	Ensayos de peso específico seco de los adobes	54
	CAPITULO IV: ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DEFINIR LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE ESTABILIZACIÓN, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	57
3.1	ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DEFINIR LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE ESTABILIZACIÓN	58
3.1.1.	Técnicas empleadas	62
3.1.2	Diseño del experimento para la fabricación de los bloque con suelo estabilizado. Procedimiento	65
3.1.3.	Selección de la técnica	68
3.1.4	Breve descripción del ensayo mecánico para evaluar la resistencia de los bloques	70

3.1.5	Estrategia para la evaluación cualitativa de la durabilidad (intemperismo) de los bloques de adobe	76
	CAPITULO IV: METODOLOGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE	82
4.1.	INTRODUCCIÓN	83
	CAPITULO V: CONCLUSIONES	99
5.1.	CONCLUSIONES	100
	CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	102
6.1.	RECOMENDACIONES	103
	CAPITULO VII: BIBLIOGRAFIA	105
7.1.	BIBLIOGRAFIA	106
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	108
	CAPITULO VIII:	109
	ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Tabla 1.1.	Modos de estabilización del suelo.	24
Tabla 2.1.	% contracción de suelos sin estabilizar, prueba de La Cajita.	48
Tabla 2.2.	% contracción de suelo estabilizado con cemento, prueba de La Cajita.	49
Tabla 2.3.	Composición ideal de un suelo <i>dirigida al uso vial</i> .	51
Tabla 2.4.	Resultados de ensayos de granulometría a las minas utilizadas actualmente por el Sr. Francisco Paucar.	51
Tabla 2.5.	Especificaciones locales para tamaño de las partículas de suelo, para adobe	52
Tabla 2.6.	Resultados de clasificación de suelos (límites de consistencia).	53
Tabla 2.7.	Recomendaciones sobre la densidad de los suelos.	55
Tabla 2.8.	Densidad de Adobes.	56
Tabla 3.1.	Identificación de las Variables Independientes para esta investigación	61
Tabla 3.2.	Matriz de Experimento indicando la manipulación de las Variables independientes.	69
Tabla 3.3.	Cantidad de Testigos a ensayar por punto del hexágono.	70
Tabla 3.4.	Resultados de Ensayo de Compresión Simple para RG8 .	73
Tabla 3.5.	Resultados de Ensayo de Compresión Simple para RG1 .	74
Tabla 3.6.	Resultados de Ensayo de Compresión Simple para RG2 .	75
Tabla 3.7.	Resultados de Ensayo de Compresión Simple para RG3 .	75
Tabla 3.8.	Resumen resultados de Ensayo de Compresión Simple.	76
Tabla 3.9.	Registro diario de los eventos climáticos para intemperismo.	79
Tabla 4.1.	Cantidad de muestra	89
Tabla 4.2.	Matriz de Experimento indicando la manipulación de las Variables independientes y el número de especímenes por cada nivel de variación en la cantidad de cemento.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Figura 1.1	Ilustración secuencial de solución del problema de investigación	10
Figura 2.1.	Pruebas y Ensayos de Campo realizados al suelo para su clasificación primaria.	35
Figura 2.2.	Proceso para caracterización del suelo.	50
Figura 3.1.	División del “universo” en áreas homogénea	59
Figura 3.2	Esquema del experimento y variables	60
Figura 3.3	Ejemplo de relación de variables independiente y dependiente	61
Figura 3.4	Experimentos con control de las variables	62
Figura 3.5.	Modelo Multitabla RESTRINGIDO A UNA LÍNEA	68
Figura 3.6.	Dimensiones del bloque a ensayar	73
Figura 3.7.	Dimensiones de muros ensayar = 1m^2	77
Figura 3.8.	Pasos secuenciales de una investigación mediante la observación científica de un fenómeno.	77
Figura 4.1	Ensayos de Laboratorio realizados al suelo para su caracterización.	89
Figura 4.2	Esquema del experimento y variables	92
Figura 4.3	Detalle de las actividades que se seguirán en la Investigación Experimental del Trabajo	98

ÍNDICE DE FOTOS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Foto 1.	El suelo como material de construcción	8
Foto 2.	Situación actual de la vivienda rural.	9
Foto 3.	Vivienda con deterioro evidente.	9
Foto 4.	Vivienda sin terminar, deteriorada.	12
Foto 1.1.	Vista general de la antigua ciudadela inca "Machu Picchu"	17
Foto 1.2.	Vivienda de Adobe construida en Saraguro, con el empleo de materiales locales.	18
Foto 13.	Vivienda construida en Oriente Medio a base de suelo.	19
Foto 2.1.	Secado del suelo.	36
Foto 2.2.	Prueba del tacto	36
Foto 2.3.	Resistencia a la penetración.	38
Foto 2.4.	Se pega al cuchillo.	38
Foto 2.5.	Suelo y equipo listo.	38
Foto 2.6.	Superficie brilla parcialmente.	38
Foto 2.7.	Suelo se pega parcialmente en la palma al manipularlo.	39
Foto 2.8.	Suelos listos para la prueba.	39
Foto 2.9.	Presenta granulometría semejante.	39
Foto 2.10.	Muestras preparadas.	40
Foto 2.11.	Ensayo de golpes.	40
Foto 2.12.	Muestras preparadas para secado.	41
Foto 2.13.	Secado giroscópico.	41
Foto 2.14.	Preparadas para rotura.	42
Foto 2.15.	Resistencia a rotura media.	42
Foto 2.16.	Hebras d= 3mm	43
Foto 2.17.	Humedad requerida.	43
Foto 2.18.	Bolitas a partir de hebras suelo 1.	43
Foto 2.19.	Bolitas suelo 2.	43
Foto 2.20.	Foto 2.20 Se prepara un cigarro.	44
Foto 2.21.	Presionar el cigarro.	44
Foto 2.22.	Cinta de e = 6mm.	44
Foto 2.23.	La cinta se rompe.	44
Foto 2.24.	Hidrómetro realizado a suelos sin valoración previa	45

Foto 2.25.	Hidrómetro realizado a suelos sin valoración previa	46
Foto 2.26.	Realizado a mezcla de suelos 1+2 con valoración previa.	47
Foto 2.27.	Fecha de lo inicio el 10 de febrero de 2010, <i>suelo sin estabilizar.</i>	48
Foto 2.28.	Fecha de término de la prueba 18 de febrero de 2010: (8 días).	48
Foto 2.29.	Se finaliza la prueba el 02 de octubre de 2008 (7 días).	48
Foto 2.30.	Se mide la contracción lineal igual a 2.8 cm= 5%.	48
Foto 2.31.	Inicio de ensayo el 19-02-2010 con (6,8,10)% cemento.	49
Foto 2.32.	Ensayo termina el 26-02-2010 contracción (20,22,25)mm	49
Foto 3.1.	Ilustración del ensayo y compresión del bloque	71
Foto 3.2.	Fecha de inicio 15 - 08 – 2009	78
Foto 3.3.	Fecha de término 20 – 12 – 2009	78
Foto 3.4.	Fecha de inicio 23 - 12 – 2009	79
Foto 3.5.	Fecha de término 31 – 03 – 2010	79
Foto 3.6.	Fin de prueba 15-04-2010 (RG8 Adobe Natural)	81
Foto 3.7.	Fin de prueba 15-04-2010 (Adobe Estabilizado 6%)	81
Foto 3.8.	Fin de prueba 15-04-2010 (Adobe Estabilizado 8%)	81
Foto 3.9.	Fin de prueba 15-04-2010 (Adobe Estabilizado 10%)	81
Foto 4.1.	Niños juegan con barro	83
Foto 4.2.	Constructores con adobe.	83
Foto 4.3.	Vivienda con pared deteriorada.	83
Foto 4.4.	<i>Fachada deteriorada.</i>	83
Foto 4.5.	Vivienda de hormigón que rompe lo tradicional.	84
Foto 4.6.	Vista frontal vivienda de adobe.	85
Foto 4.7.	Vista lateral vivienda de adobe.	85
Foto 4.8.	Fábrica Sr. Oswaldo Paucar, sector Vinoyacu	85
Foto 4.9.	Sr. Oswaldo Paucar e hijos, camino de la mina arena.	87
Foto 4.10.	Acopio de arena, fabrica Sr. Oswaldo Paucar	88
Foto 4.11.	<i>Hueco practicado en el piso junto a la fábrica utilizado para realizar el mezclado de dos Suelo</i>	88
Foto 4.12.	<i>Hueco practicado en el piso junto a la fábrica utilizado para realizar el mezclado de dos Suelo</i>	88
Foto 4.13.	Método de áreas homogéneas trazado en el lugar de la mina.	91
Foto 4.14.	Recolección de la muestra: para ensayos de campo, laboratorio y 200 adobes para compresión simple e intemperismo.	91

Foto 4.15.	Recolección de la muestra: para ensayos de campo, laboratorio y 200 adobes para compresión simple e intemperismo.	91
Foto 4.16.	Momento en el que se adiciona el cemento al barro	92
Foto 4.17.	Se muestran balanza y balde, se adiciona 1 litro de agua por kg. de cemento para mantener la trabajabilidad del barro.	92
Foto 4.18.	Equipo o fábrica artesanal para moldear adobe.	93
Foto 4.19.	Moldeado manual de un adobe mediante proceso artesanal.	93
Foto 4.20.	Enrazado y nivelado final del adobe	93
Foto 4.21.	Desmoldeado del adobe.	93
Foto 4.22.	Adobe perfectamente dosificado.	94
Foto 4.23.	Tendal: lugar de secado al ambiente donde se marca cada uno de los especímenes de acuerdo con su contenido de cemento.	94
Foto 4.24.	Adobe en laboratorio momentos antes de ser sometidos a compresión simple.	94
Foto 4.25.	Stock de especímenes de acuerdo a su contenido de cemento a ser probados a compresión simple y intemperismo.	94
Foto 4.26.	Se calibra máquina de compresión, se mide y pesa cada uno de los adobes.	95
Foto 4.27.	Se da carga a cada uno de los adobes hasta alcanzar una deformación igual a 7 mm.	95
Foto 4.28.	Muro de adobe que presenta inestabilidad frente al viento.	95
Foto 4.29.	Los adobes en contacto con el agua del piso y la lluvia son destruidos rápidamente.	95
Foto 4.30.	Fecha de inicio intemperismo 23 - 12 - 2009	96
Foto 4.31.	Fecha de término ensayo de intemperismo 31 - 03 - 2010	96

ÍNDICE DE GRAFICAS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Gráfica 2.1	Valores máximos y mínimos para suelos utilizables en adobe	55



RESUMEN

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE, PROPUESTA METODOLÓGICA

Los pobladores de las zonas rurales o periféricas de las grandes ciudades andinas generalmente construyen sus viviendas mediante el sistema de “autoconstrucción”, sistema ancestral que se fundamenta en la fabricación “in situ” de elementos de pequeño formato (adobes) en base a suelo mezclado con agua y con algunas fibras vegetales con el fin de alcanzar apenas un nivel primario de estabilización. Sin embargo, la más de las veces este procedimiento no garantiza la durabilidad ni la resistencia del producto obtenido, por lo que resulta indispensable estudiar **nuevos procedimientos** que puedan ser aplicados por esos sectores de la población con la garantía de reproducir un producto de mejor aptitud (resistencia y durabilidad), de **bajos costos** y mediante una tecnología que resulte **técnicamente viable**.

El carácter natural y heterogéneo del suelo origina no pocas incertidumbres cuando se le estudia, tanto más cuando se desea modificar su matriz natural mediante la adición voluntaria de algún estabilizante con el interés de mejorar sus propiedades. Como el fin de esta investigación gira precisamente alrededor de la estabilización de suelos, para su instrumentación y desarrollo se plantea como hipótesis el que la estabilización del suelo utilizando cemento portland asegura en él la aptitud que se procura con relaciones Cemento/Suelo inferiores al 10%. Más allá de este valor se pierde cemento innecesariamente, así como también el que los bloques de adobe contruidos en base a suelo estabilizado mejoran apreciablemente su calidad como elemento básico para la construcción de muros de adobe, a costos que justifican la inclusión del estabilizador.

La mayoría de los suelos en sus condiciones naturales no presentan las características de resistencia, estabilidad ni durabilidad requeridas para ser utilizados en la construcción por lo tanto es importante desarrollar tecnologías para mejorar sus propiedades, cada material tiene su propia tecnología, su forma arquitectónica y su tipología estructural.



Entonces, no existen materiales buenos o malos, sino bien o mal utilizados. Ejemplo, el hielo para los esquimales es un material adecuado.

La experiencia ha demostrado que el uso del suelo como material de construcción constituye una alternativa para la implementación de programas dirigidos a dar respuesta a la elevada demanda de viviendas de bajo costo, especialmente para los sectores rurales, incluyendo al segmento indígena cuya ancestral cultura está ligada a la construcción con suelo, a más de las ventajas anteriormente señaladas se destaca el hecho de que la presente investigación (**Estabilización de Suelos para la fabricación de bloques de Adobe**) se ocupa de analizar, precisamente, alternativas técnicamente probadas en carreteras mediante la estabilización del suelo con cemento para el mejoramiento de sus propiedades físico mecánicas, pero enfocando la técnica y sus principios a la fabricación de bloques de adobe que pueden ser empleados en la construcción de viviendas, y de ser el caso que se lo fabrique a escala industrial especialmente en aquellas zonas con tradición y experiencia en construcción con adobe puede ser una parte de una solución social, técnica, económica y ambientalmente recomendada.



ABSTRACT

DIRECTED STABILIZATION OF FLOORS TO THE PRODUCTION OF BLOCKS OF IT MARINATES, METHODOLOGICAL PROPOSAL

The residents of the rural or outlying areas of the big Andean cities generally build their housings by means of the system of "auto construction", ancestral system that is based in the production "in situ" of elements of small format (you marinate) based on blended floor with water and with some vegetable fibers with the purpose of reaching so at least a primary level of stabilization. However, the more than the times this procedure doesn't guarantee the durability neither the resistance of the obtained product, for what is indispensable to study new procedures that can be applied by the population's sectors with the guarantee of reproducing a product of better aptitude (resistance and durability), of low costs and by means of a technology that is technically viable.

The natural and heterogeneous character of the floor not originates few uncertainties when he/she is studied, so much more when he/she wants himself to modify its natural womb by means of the voluntary addition of some estabilizante with the interest of improving its properties. As the end of this investigation it in fact rotates around the stabilization of floors, for their instrumentation and development thinks about as hypothesis the one that the stabilization of the floor using cements portland it assures in him the aptitude that is offered with relationships inferior Cement/floor to 10%. Beyond this value gets lost cement unnecessarily, as well as the one that the adobe blocks built based on stabilized floor improve its quality like basic element considerably for the construction of adobe walls, at costs that justify the inclusion of the stabilizer.

Most of the floors under their natural conditions don't present the resistance characteristics, stability neither durability required to be used therefore in the construction it is important to develop technologies to improve their properties, each material has its own technology, its architectural form and its structural typologies. Then, good or bad materials don't exist, but well or not well used. Example, the ice for the Eskimo is an appropriate material.

The experience has demonstrated that the use of the floor like construction material constitutes an alternative for the implementation of programs directed to give answer to the high demand of housings of low cost, especially for the rural sectors, including to the indigenous segment whose ancestral culture is bound to the construction with floor, to more than the previously signal advantages he/she



stands out the fact that the present investigation (Stabilization of Floors for the production of blocks of Adobe) he/she is in charge of of analyzing, in fact, alternative technically proven in highways by means of the stabilization of the floor with cement for the improvement of their properties physique mechanics, but focusing the technique and their principles to the production of adobe blocks that they can be employees in the construction of housings, and of being especially the case that manufactures it to industrial scale in those areas with tradition and experience in construction with adobe it can be a part of a social solution, technique, economic and environmentally recommended.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



INTRODUCCIÓN



1859



INTRODUCCIÓN

Los pobladores de las zonas rurales o periféricas de las grandes ciudades andinas generalmente construyen sus viviendas mediante el sistema de “autoconstrucción”, sistema ancestral que se fundamenta en la fabricación “in situ” de elementos de pequeño formato (bloques) en base a suelo mezclado con agua y con algunas fibras vegetales con el fin de alcanzar tan siquiera un nivel primario de estabilización¹. Sin embargo, la más de las veces este procedimiento no garantiza la durabilidad ni la resistencia del producto obtenido, por lo que resulta indispensable estudiar **nuevos procedimientos** que puedan ser aplicados por esos sectores de la población con la garantía de reproducir un producto de mejor aptitud (resistencia y durabilidad), de **bajos costos** y mediante una tecnología que resulte **técnicamente viable**.

Por ejemplo, el subprograma para la *Sistematización de Usos de la Tierra en Vivienda de Interés Social* en la ciudad de Popayán, Colombia, incluyó un grupo de acciones dirigidas a la autoconstrucción con tierra de viviendas adecuadas a la necesidad económica, social y cultural de la localidad, por medio del cual se entregaron herramientas y metodologías para el desarrollo de proyectos de construcción². Entre los principales temas que incluyó temas como: el suelo en la cimentación, técnicas y materiales de refuerzo, la normalización de los revestidos para asegurar mayor durabilidad a las viviendas, acciones todas que al corto plazo se traducen en economía.

La pretensión se justifica pues a pesar de que en la actualidad son muchos los materiales clásicos de construcción, la tierra sigue siendo uno con altos niveles de

¹ Para mejorar el suelo como material de construcción se han desarrollado progresivamente diferentes técnicas ancestrales. Inicialmente, se utilizaba el material en la forma natural; después, se encontró que la incorporación de fibras vegetales (paja y desechos orgánicos) mejoraba en cierta medida al material puro. Sin embargo, ello no ha sido suficiente para garantizar la suficiente estética, resistencia y durabilidad, ya que existen evidencias de que las viviendas construidas con suelo natural, o incluso, con suelo estabilizado mediante fibra vegetal, presentan las siguientes limitaciones: **1. Son sistemáticamente erosionadas por la lluvia o atacadas por la humedad del ambiente; 2. Se producen grietas en los muros debido a la baja resistencia a tracción del bloque o tapial; 3. Son altamente vulnerables a la acción de eventos sísmicos, debido a la fragilidad de los elementos; 4. El peso del bloque tradicional de adobe es 20kg factor que limita su manipulación.**

² El subprograma fue concebido por el Grupo Habitierra que forma parte del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED y Fedevivienda)



competitividad ya que demanda poca inversión, es fácilmente adaptable, se encuentra en el lugar y posee probadas ventajas ecológicas.

Prácticamente todos los suelos pueden ser estabilizados con la lógica excepción de la capa vegetal y las arcillas de tipo expansivo; sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla de calidad, el número de suelos aptos se reduce. El concepto de suelo apto dependerá fundamentalmente de las exigencias que demande su estabilización (buena granulometría en la que predominen las fracciones arcillosas), y de las condiciones a las que se pretenda someter el material, tanto de trabajo, como ambientales.

¿Por qué es útil la estabilización?

La mayoría de los suelos en sus condiciones naturales no presentan las características de resistencia, estabilidad ni durabilidad requeridas para ser utilizados en la construcción. Estas insuficiencias pueden ser vencidas a partir de una detallada caracterización del suelo que permita definir qué proceso ha de seguirse para mejorar sus propiedades, los que pueden ser clasificados como: **Mecánicos** o **Químicos**. El primero no incluye estabilizante químico, densifica al suelo mediante la introducción de energía de compactación, o recurre a la adición de fibras naturales. Los procesos Químicos ya consideran la adición de algún estabilizante que reaccionen con el suelo, lo mismo **ligante** (encadenar mediante cemento o aglomerar mediante cal), que **hidrófugo** (impermeabilizando con asfalto, o hidrofugando de manera que se limite la adsorción del agua). Pero nótese, aunque mejorado, sigue tratándose de **Suelo**.

Según **R. Stulz** cada material tiene su propia tecnología, su forma arquitectónica y su tipología estructural. Entonces, no existen materiales buenos o malos, sino bien o mal utilizados. Ejemplo, el hielo para los esquimales es un material adecuado.

La experiencia ha demostrado que el uso del suelo como material de construcción constituye una alternativa para la implementación de programas dirigidos a dar respuesta a la elevada demanda de viviendas de bajo costo, especialmente para los sectores rurales,



incluyendo al segmento indígena cuya ancestral cultura está ligada a la construcción con suelo.

Son incuestionables las ventajas que presenta el suelo como material de construcción, a decir: se lo encuentra en el sitio mismo de la construcción; estimula la autoconstrucción en el marco de la solidaridad y de las buenas relaciones de vecindad; la construcción con suelo se basa en técnicas ancestrales y bastante conocidas; evita la dependencia de materiales importados; y son, en general, de bajo costo en comparación con otras variantes. A más de las ventajas anteriormente señaladas se destacan las de orden ecológico, toda vez que, aun cuando vaya a estabilizarse el suelo con cemento o cal, no involucra importantes volúmenes de estos materiales elaborados a partir de elevados consumos energéticos, como tampoco entregan al ambiente residuos contaminantes.



Foto 1: El suelo como material de construcción

La presente investigación (**Estabilización de Suelos para la fabricación de bloques de Adobe**) se ocupa de analizar, precisamente, alternativas técnicamente probadas en carreteras mediante la estabilización del suelo con cemento para el mejoramiento de sus propiedades físico mecánicas, pero enfocando la técnica y sus principios a la fabricación de bloques de adobe que pueden ser empleados en la construcción de viviendas, especialmente en aquellas zonas con tradición y experiencia a las que resulta difícil acceder con las tecnologías propias de las urbanizaciones citadinas, lo mismo por la inexistencia de redes viales que lo propicien como consecuencia de lo irregular del relieve de las cadenas montañosas andinas, que por la



nula pertinencia del hormigón, el acero, el cristal, etc., dentro de esos contextos y para esas culturas.

FOTO 2



Foto 2: Situación actual de la vivienda rural.

La investigación propone establecer una **Metodología** dirigida a cuantificar la influencia que tendría en la propiedad físico mecánica (resistencia a compresión), la **cantidad de cemento** a añadir a un suelo apto para la fabricación de bloques de adobe, y a la vez la **humedad óptima** que debe poseer dicho suelo para lograr una adecuada trabajabilidad.

OBJETIVO GENERAL

FOTO 3



Foto 3: Vivienda con deterioro evidente.

Elaborar una metodología que permita fabricar un bloque de adobe a partir de suelo estabilizado con cemento portland con el fin de mejorar su resistencia mecánica y su durabilidad, de manera que al emplearlo en la construcción de viviendas asegure bajos

costos, una vida útil cualitativamente superior (expresión formal, impermeabilidad, más resistente a los elementos naturales), y cuantitativamente más prolongada.

La **Figura 1.1** ilustra la conexión entre las diferentes actividades que se seguirán para alcanzar la respuesta al problema de investigación que se enunciara en el párrafo anterior.

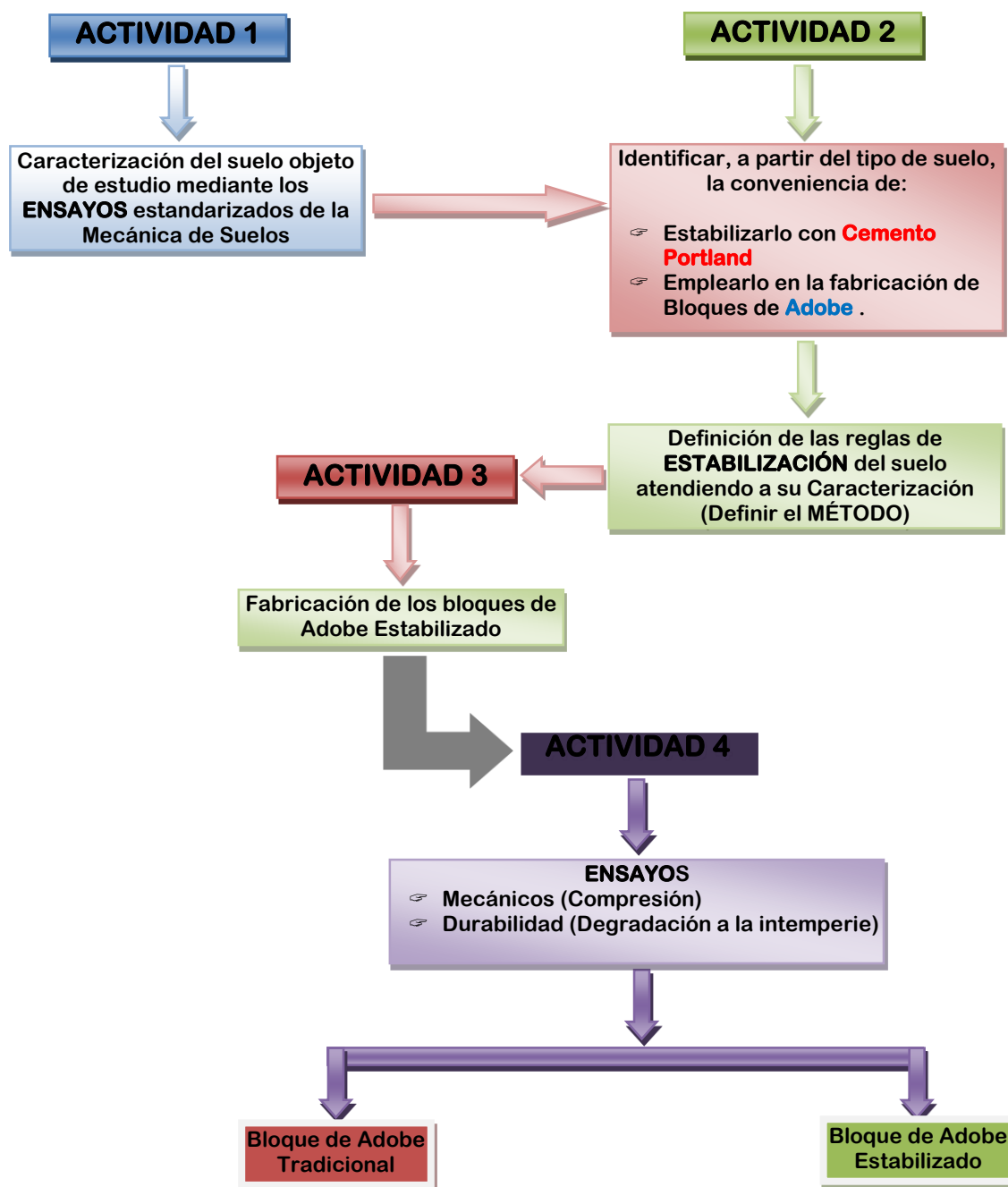


Fig. 1.1 Ilustración secuencial de la solución del problema de Investigación



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Valorar mediante ensayos de campo³ la idoneidad de aquellos suelos ubicados dentro de la zona de estudio, que resultaren aptos para la fabricación de bloques de Adobe.
- 2) Caracterizar⁴ los suelos que resultaron aptos por medio de los ensayos tradicionales de la mecánica de suelo.
- 3) Mediante un diseño de Experimento: determinar los porcentos de cemento portland como material estabilizador del suelo X_1 , respecto de la humedad diremos que se mantendrá entre el (37 – 39) % ya que asegura trabajabilidad adecuada para producir un bloque de adobe de mejor aptitud constructiva (resistencia y durabilidad).
- 4) Realizar ensayos de resistencia a la compresión, y de durabilidad, a bloques de adobe natural (sin estabilizar), y a bloques fabricados a partir de suelo estabilizado con cemento portland.
- 5) Investigar las posibles ventajas que se alcanzan con los bloques de adobe fabricados a partir del suelo estabilizado respecto de las soluciones que tradicionalmente se vienen empleando (adobe tradicional).
- 6) Establecer una metodología que describa el proceso de estabilización para la fabricación de bloques de adobe, que bien podría ser aplicable a otras regiones más allá de la que será estudiada.

HIPÓTESIS

El carácter natural y heterogéneo del suelo origina no pocas incertidumbres cuando se le estudia, tanto más cuando se desea modificar su matriz natural mediante la adición

³ Estos ensayos se refieren a una valoración visual intuitiva que se realiza inicialmente al suelo in situ para ignorar a aquellos cuyos tamaños lo hacen inapropiados a los fines del adobe, así como a otros ensayos de probada práctica como la “Prueba de la Tablita”, la “Prueba del Tabaquito”, “Sedimentación del Suelo en una Botella”, entre otros.

⁴ Esta caracterización incluye: **Granulometría**, **Límites de Consistencia** (Límite Líquido, Límite Plástico), y **Peso Específico seco del adobe**.



voluntaria de algún estabilizante con el interés de mejorar sus propiedades. Como el fin de esta investigación gira precisamente alrededor de la estabilización de suelos, para su instrumentación y desarrollo se establecerán las siguientes presunciones:

- a) *La estabilización del suelo utilizando cemento portland asegura en él la aptitud que se procura con relaciones Cemento/Suelo menor o iguales al 10%. Más allá de este valor se pierde cemento innecesariamente⁵.*
- b) *Los bloques de adobe contruidos en base a suelo estabilizado mejoran apreciablemente su calidad como elemento básico para la construcción de muros de adobe, a costos que justifican la inclusión del estabilizador.*

Cuando se recorre la región andina puede constatarse la diversidad de viviendas construidas en base a bloques de adobe, y sobre todo, el deplorable estado en que se encuentra la mayoría de ellas a causa de la manifiesta degradación de los bloques que definen sus muros, especialmente los exteriores.



Foto 4: Vivienda sin terminar, deteriorada.

El sentido común y la sensibilidad humana del investigador, sumado a su formación teórica consolidada a través de los módulos de la Maestría, y el propio interés del Director de esta investigación en aplicar los conocimientos de la ciencia a la solución de los problemas más perentorios de las familias que tradicionalmente construyen con barro,

⁵ En realidad el investigador no ha encontrado en la literatura consultada indicadores que refieran la relación óptima *Cemento/Suelo* cuando se trate de la fabricación de adobes, sino los referidos por la AASHTO para obras viales, que lo sitúa entre un 5% y 13%.



crean la sinergia necesaria para desarrollar este tema, y a la vez propone una alternativa con efectos positivos sobre estos grupos humanos, minimizando el deterioro ambiental, justificando su razón de ser.

El presente documento que consolida la investigación realizada ha sido estructurado de la siguiente manera:

INTRODUCCIÓN: presenta los antecedentes de la investigación, el objetivo general y los objetivos específicos, hipótesis, estructura del trabajo y síntesis del contenido.

CAPÍTULO I: recoge información secundaria relacionada al tema a tratarse, respecto de la utilización desde hace milenios del suelo como material de construcción alrededor del y de detallan dos momentos de singular importancia en la presente investigación el *primero momento*.- para realizar ensayos y pruebas al suelo en su ambiente natural de cara a la valoración de la Idoneidad del suelo para ser empleado en la fabricación de Adobe y el *segundo momento*.- se desarrollaron pruebas en laboratorio para investigar cómo influye en la resistencia a compresión simple en bloques de Adobe la estabilización con cemento y en paralelo se realizaran ensayos de intemperismo con los diferentes grupos de adobe para evaluarlos entre ellos respecto de los agentes meteorológicos y. Finalmente se plantea la postura del investigador frente a los efectos e impactos sociales y ambientales que tiene la presente.

CAPITULO II: una vez identificada una cualquiera de las Fábricas que produce en la actualidad bloques de adobe dentro del Cantón Saraguro, este Capítulo expone y describe los procedimientos visuales y mediante ensayos elementales in situ, que permiten definir la **idoneidad** del suelo para producir adobe a partir de la fracción de arcilla que posea el suelo.

En un segundo momento en este Capítulo se describen los ensayos de rigor de la mecánica de suelos que se realizan a nivel de laboratorio al suelo identificado como idóneo, para **caracterizarlo** física y morfológicamente, es decir: conocer su



granulometría, sus límites de consistencia y el peso específico del suelo de los adobes secos.

CAPÍTULO III: en este Capítulo se detalla el diseño de experimento para definir los **valores de las variables independientes** (Cemento/Suelo y agua/Suelo) que conducen a la mayor resistencia del suelo estabilizado con cemento portland, y expone los resultados luego de haber ensayado los especímenes a compresión simple.

Un segundo momento refiere el método no experimental que se seguirá para estudiar la incidencia de la **estabilización en la durabilidad** de un muro construido con bloque de adobe estabilizado, tomando como punto de comparación otro construido con los bloques ordinarios.

CAPÍTULO IV: este Capítulo expone la metodología que, como principal resultado de la investigación, se propone aplicar cuando se desee estabilizar suelos con vista a la fabricación de bloques de adobe.

CAPÍTULO V y VI: se refiere a las Conclusiones y Recomendaciones de la presente investigación y finalmente.

CAPÍTULO VII y VIII: muestran la Bibliografía utilizada y los Anexos.

PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Qué región seleccionar para extraer el suelo que ha de emplearse en este estudio?
- 2) ¿Cómo definir el tamaño de la muestra que se debe extraer de esta región para que, mediante un método experimental de investigación, se logre alcanzar los objetivos que luego se definen?
- 3) A falta de información sobre los porcentajes (%) de cemento que pueden resultar adecuados para estabilizar un suelo que se desee emplear en la fabricación de



bloques de Adobe ¿Pudieran utilizarse los indicadores para obras viales (carreteras) descritos por la ASSHTO?

- 4) ¿Será posible plantear un algoritmo que defina el proceso de estabilización de manera que pueda hablarse de una metodología generalizable a cualquier otra región, más allá de la estudiada?

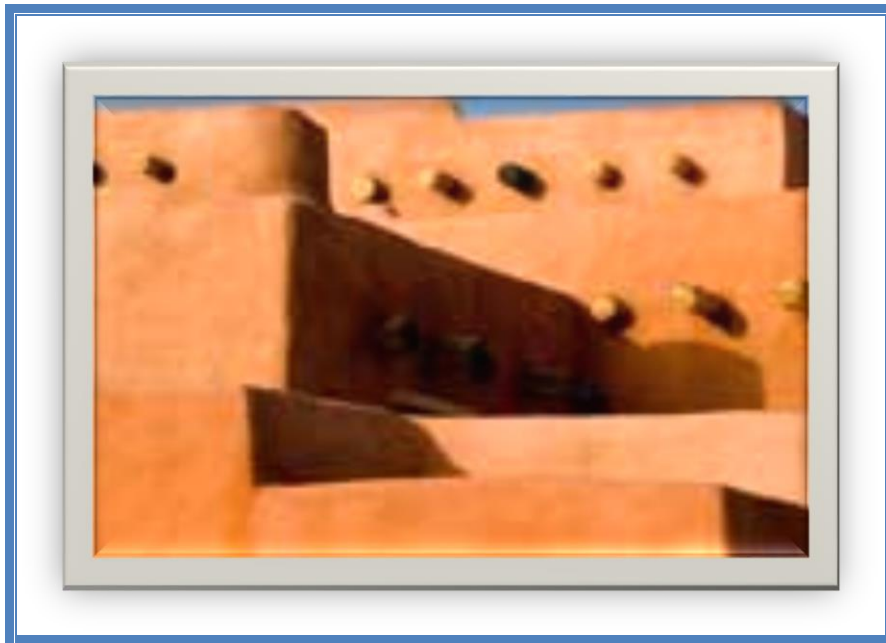
- 5) ¿Qué ventajas se alcanzan con los bloques de adobe fabricados a partir de un suelo estabilizado, respecto de las soluciones que tradicionalmente se vienen empleando?



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO I

**MARCO TEÓRICO, ESTADO DEL ARTE,
DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA Y POSTURA DEL
INVESTIGADOR**



1.1 CAMPO DE INVESTIGACIÓN. ESTADO DEL ARTE

1.1.1 EL SUELO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El suelo como material de construcción ha sido utilizado por el hombre desde hace milenios realizándose obras de las que algunas aún perduran. Son ejemplos la gran muralla de China, las ruinas de Chan Chan, el complejo más grande del tiempo precolombino en América Latina, y Machu Picchu de Perú, muestra que nuestros antepasados no desconfiaban en la aplicación de este material en obras grandes.⁶



Foto 1.1: Vista general de la antigua ciudadela Inca "Machu Picchu"

En América Latina el proceso de crecimiento poblacional en las áreas urbanas ha sido mucho más acelerado que el experimentado en el resto del mundo, lo que determina que cada vez haya más ciudades rodeadas de cordones de pobreza. Hasta el año 2000 la población urbana había superado el 55 %, mientras que sólo entre la década del 70 y la del 90 la población urbana pobre, en gran parte producto de las migraciones del campo, creció hasta aproximadamente el 40 % lo que significa unos 120 millones de personas. Ya en la actualidad se estima que 170 millones viven en condiciones "*difíciles*", es decir excluidos de las más elementales condiciones de vida, haciéndolos vulnerables a las enfermedades, sin vivienda y sin educación básica. La marginalidad social, modernamente bautizada con el nombre de "informalidad", del que son víctimas como

⁶ EL SUELO ESTABILIZADO, (89., 2004, Loja, Ecu.). Memorias. Estabilización de suelos. CUBA. CUJAE. 10p.



consecuencia de la pobreza urbana, los obliga a los peores niveles de calidad ambiental **configurándose así la marginalidad ambiental urbana.**

Particularmente en los países andinos de América del Sur se están dando pasos significativos respecto de pensar cómo, desde el campo de la arquitectura, la ciencia y la tecnología se puede aportar y generar proyectos de construcción masiva con técnicas que incorporen la tierra como material principal de construcción.

La “arquitectura de terreno”, ejecutada con materiales locales, está directamente vinculada a las actividades socioeconómicas del lugar en que se realiza. En el contexto actual, una vez concluida la primera década del siglo XXI, no se trata únicamente de **valorizar un patrimonio arquitectónico**, considerado con frecuencia secundario, sino sobre todo de proponer **políticas de desarrollo sostenible a los más desfavorecidos**, ofreciéndoles la posibilidad de adquirir una vivienda decente. En el punto 6 de la Declaración de Estambul sobre los Asentamientos Humanos, ratificada por los Estados Miembros de las Naciones Unidas el 14 de junio de 1996, se recalca, entre otras cosas, la interdependencia entre desarrollo rural y desarrollo urbano para reducir la migración del campo a la ciudad. En el punto 10 se destaca la importancia de garantizar de manera concomitante a las generaciones futuras la **sostenibilidad de los ecosistemas** y el **mejoramiento de las condiciones de vida**. Por último, en el punto 15 se subraya que con la Declaración de Estambul se inicia una nueva **era de cooperación y solidaridad**. Todas las personas de todos los sectores deberán tomar en consideración esa solidaridad. Es evidente que se precisa adaptar la **arquitectura vernácula** a las necesidades de los habitantes del siglo XXI, y que el mejoramiento de la calidad de vida en las zonas rurales supone la **revitalización socio-arquitectónica** de una vivienda tradicionalmente en armonía con los ecosistemas que la rodean.



Foto 1.2: Vivienda de Adobe construida en Saraguro, utilizando materiales locales.



El *desarrollo sostenible de los asentamientos humanos* se funda en la protección del entorno y en la buena gestión de los recursos naturales. Así, la UNESCO realiza y apoya diversas actividades destinadas tanto a mejorar las condiciones de vida de los habitantes como a preservar los ecosistemas, y estimular *la utilización de materiales locales*, unida a las tecnologías más avanzadas, en particular las relativas a las *energías renovables*. Un ejemplo concreto: gracias a la Cátedra UNESCO de *arquitectura de adobe*, y del *Centre de recherche sur l'architecture de terre* de la Universidad de Grenoble, se trabaja con universidades de América Latina y África en la introducción de técnicas de construcción con el empleo de suelo. El ejemplo de las actividades de los países de Europa encaminadas a promover la arquitectura y la vivienda tradicionales ha tenido un efecto movilizador en los países de América Latina y el Caribe, África y Asia. La UNESCO seguirá respaldando las actividades previstas en este campo y alentando a los países de Europa, entre otros, a que también aporten su contribución a este esfuerzo para garantizar la perennidad de la arquitectura vernácula y la vivienda tradicional en el mundo.⁷

Durante el transcurso de los años la tierra como material de construcción ha generado mucha expectativa, desde satisfacer las necesidades de familias en construcciones de viviendas modestas, hasta deleitarnos con majestuosos monumentos como pirámides, fortalezas, mezquitas, catedrales o palacios.



Foto. 1.3: Vivienda construida en Oriente Medio a base de suelo.

Finalmente, hay que destacar la presencia en la actualidad de la tierra cruda en la edificación. En los países con mayor necesidad de viviendas y menos recursos como sucede en casi toda África, Oriente Medio y América Latina, la tierra es el material de construcción que predomina. En China e India hay más de 50 millones de casas de tierra.

⁷ Francine Fournier Subdirectora General del Sector de Ciencias Sociales y Humanas de la UNESCO.



En zonas como Europa, sin embargo, la tierra está prácticamente ignorada en la construcción nueva, aunque forma parte del paisaje cotidiano en muchas regiones rurales donde todavía se mantienen viviendas y patrimonio de tierra.

1.1.2 VENTAJAS Y PROPIEDADES DE LA TIERRA EN LA EDIFICACIÓN

La tierra es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica, siempre que provenga de un suelo que no haya padecido contaminación.

Es totalmente reciclable: si en la construcción no se mezcla la tierra con algún producto artificial (por ejemplo, cemento), sería posible integrar totalmente el material en la naturaleza una vez se decidiera derruir el edificio.

Fácil de obtener localmente, prácticamente cualquier tipo de tierra es útil para construir, o bien se puede escoger una técnica u otra en función de la tierra disponible. Además se le puede mezclar con otro material cercano o con algún mejorante de la mezcla (cal, yeso, paja...).

La construcción con tierra cruda es sencilla y con poco gasto energético, no requiere de grandes recursos para ser transportación, ni de una cocción a alta temperatura. Es por ello que se considera un material de muy baja energía incorporada. Sin embargo, quizá sí sea necesario un mayor esfuerzo e implicación de los constructores.

Su obtención es respetuosa si se extrae del propio emplazamiento, provocando un impacto poco mayor que el que ya supone realizar la propia construcción. No lleva asociados problemas como la deforestación o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos.

Algunas de sus principales ventajas se resumen a continuación:

- Excelentes propiedades térmicas. La tierra tiene una gran capacidad de almacenar el calor y cederlo posteriormente (calidad conocida como inercia



térmica). Así, permite atenuar los cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable. Sobretudo resulta adecuada en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche pero, si se incluye un aislamiento adecuado, también es idónea en climas más suaves.

- Propiedades de aislamiento acústico, los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.
- La tierra es un material inerte que no se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos, esto es así porque se evita el uso de las capas superiores de suelo, con gran cantidad de material orgánico.
- Es un material por naturaleza transpirable, los muros de tierra permiten la regulación natural de la humedad del interior de la casa, de modo que se evitan las condensaciones.
- Económicamente asequible, es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se levantará la casa.

1.1.3 LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

Formas de empleo del suelo en la construcción de edificaciones:

Para el empleo del suelo en la construcción de edificaciones existen tres variantes:

- Posibilidad de emplear tierra del lugar y ajustar el proyecto a las condiciones del material, siempre que sea posible (suelo natural)
- Posibilidad de traer tierra de otro lugar para que se ajuste al proyecto.
- Posibilidad de utilizar la tierra del lugar mejorada, mediante la estabilización (suelo estabilizado).



La primera no siempre es la indicada, pues no resulta fácil encontrar algún suelo con la composición granulométrica ideal. *La segunda* con mayores posibilidades, introduce el costo del traslado de otros materiales de características diferentes a las de los suelos existentes en el lugar, aunque no debe perderse de vista la posibilidad de emplear el suelo mezclado con materiales de desechos o residuales que incluso posean características puzolánicas, aprovechando su cercanía al lugar de ejecución y que podría ser analizada para suelos A-1-a, A-1-b y A-3 con escasez de finos, o mezclados con suelos arenosos, en el caso que presenten alto contenido de arcilla. *La tercera* indica que la mayoría de los suelos en sus condiciones naturales no presentan la resistencia, estabilidad y durabilidad requeridas para ser utilizados en la construcción.

Estas deficiencias se pueden vencer sometiéndolos a un proceso de estabilización, lo que significa. “*modificar las propiedades de un sistema tierra-agua-aire, con el objetivo de obtener propiedades permanentes compatibles con una aplicación particular*”.

Existen diferentes formas y métodos para realizar la estabilización, pudiéndose agrupar en dos grandes ramas: **estabilización física y estabilización química**.

La **estabilización física** modifica las propiedades de la tierra y se logra mediante la incidencia en su textura, que consiste generalmente en mezclar dos o más suelos naturales para obtener un material compuesto que sea superior a cualquiera de sus componentes; pero también incluye la adición de rocas trituradas o escoria, o el tamizado para eliminar partículas de ciertos tamaños. Los suelos muy finos exigen mayores por cientos de cemento para su estabilización y en el caso de los bloques de adobe, provocarán una alta retracción con la consiguiente fisuración de estos. Tanto en el primero como en el segundo caso se necesitará una corrección de su granulometría, lo cual se podrá lograr mediante una mezcla con arena o con otro suelo granular, de forma tal que se obtenga un material que cumpla los requerimientos establecidos en las especificaciones.

Otra forma de estabilización física es mediante la compactación del suelo, modo de estabilizar que no produce cambios en su textura. Los métodos más empleados son:



- Compactación estática, preferible para suelos arcillosos.
- Compactación dinámica por vibración, preferible para suelos granulares.
- Compactación dinámica por impacto, con mejores resultados en suelos granulares.
- Amasado para suelos arcillosos.
- Adicionamiento materiales fibrosos.
- Aplicando un tratamiento térmico de deshidratación o congelación.
- Aplicando un tratamiento eléctrico por electroósmosis que favorece el drenaje de la tierra, lo que le confiere nuevas cualidades estructurales.

En casos como el de los Andes y específicamente en el Ecuador, por las características del medio húmedo, la compactación sola no resolverá el problema de la durabilidad de las estructuras, por lo que habrá que acudir a la estabilización química.

La **estabilización química** consiste en cambiar las propiedades de los granos de suelo, principalmente de los minerales arcillosos y de su agua absorbida. El cambio de iones o de base, es el cambio de los cationes en la película de agua absorbida.

La plasticidad de las arcillas tiende a disminuir con el aumento de la valencia de los cationes. Con la adición, en concentración suficiente, de productos químicos con cationes de alta valencia, el suelo es forzado a cambiar su plasticidad, con el resultado de una disminución de ésta. La **Tabla 1.1** muestra los dos modos de estabilización que se han explicado.

Tabla 1.1 Modos de estabilización del suelo.

ESTABILIZACIÓN	PROCEDIMIENTO	NATURALEZA	MEDIO	PRINCIPIO
----------------	---------------	------------	-------	-----------



SIN ESTABILIZANTE	MECÁNICO (solo se Compacta)			Densificar	Crear un medio denso que bloquee los poros y los canales capilares.
	FISICO INERTE (no hay Reacción)	Mineral		Densificar	Rellenar vacíos.
Fibras Animales o vegetales			Armar	Crear una armadura en todas direcciones que reduzca el movimiento.	
CON ESTABILIZANTE	FISICO-QUIMICO	LIGANTE		Encadenar (Cemento)	Crear un esqueleto inerte que se oponga a todo movimiento.
				Aglomerar (Cal)	Formar uniones químicas estables.
		HIDRÓFULO Repelente al agua		Impermeabilizar (Asfalto)	Recubrir los granos de tierra con una película impermeable.
				Hridrofugar	Eliminar al máximo la absorción y la adsorción del agua.

FUENTE: Clasificación de Suelos; CUBA. CUJAE. Pag 2.

Para densificar se emplean dos métodos: Por compactación (no hay cambios de textura), o por graduación (si la hay). Pueden usarse ambos combinados.

Para armar (se utiliza cuando el suelo tiene grandes movimientos y no se pueden utilizar otros métodos) se pueden emplear fibras de origen vegetal, o sintética.

Para lograr el encadenamiento: se adiciona un material que sea capaz de formar una estructura rígida y que evite todo movimiento, por ejemplo el cemento, que reacciona con el agua aglomerando la arena.

Para aglomerar: se utiliza la cal. Es una reacción directa del estabilizante con la sílice de la arcilla dando una reacción de carácter puzolánico que cambia la estructura de la arcilla.

La impermeabilización: se logra totalmente con productos asfálticos o cuando se adicionan materiales que reaccionan con el agua, aumentando su volumen, llenando los



espacios vacíos, no permitiendo que entre el agua; en éste caso no hay reacción entre el estabilizante y la arcilla.

Para hidrofugar se utilizan tres vías:

- a. **Modificar el agua intersticial** (la absorbida) y el vapor de agua dentro de la tierra. Ejemplo la adición de cal disminuye la tensión superficial, mantiene la tasa de evaporación, manteniendo un nivel de agua estable.
- b. **Por intercambio iónico:** los iones son reemplazados por otros, hasta que una cantidad de ellos permanezcan fuertemente adheridos a las plaquetas de arcilla y así impedir la adherencia del agua. Ejemplo, los iones de calcio, aluminio, magnesio.
- c. **Sobre la superficie exterior del elemento** ya fabricado fijar una molécula por un extremo y en el otro extremo un material hidrófugo (repele el agua). Ejemplo productos derivados de aminas cuaternarias.

La **Estabilización con fibras** se realiza con fines de:

- Impedir la fisuración en el secado y repartir las tensiones debidas a la retracción de la arcilla en toda la masa del material.
- Acelerar el secado al drenar la humedad al exterior a través de los canales de las fibras. Inversamente la presencia de fibras aumenta la absorción de agua.
- Aligerar el material disminuyendo su masa volumétrica mejorando sus propiedades aislantes.
- Aumentar la resistencia a la tracción, es su contribución más importante.

Los suelos deben satisfacer determinadas exigencias para ser estabilizados, sin embargo, aquellos que no poseen las características deseadas para un determinado tipo de construcción pueden ser mejorados empleando uno o más estabilizadores. Cada estabilizador podrá cumplir una o dos de las siguientes funciones:



- Incrementar las resistencias mecánicas en las construcciones con suelo.
- Reducir o eliminar completamente la absorción de agua.
- Reducir rajaduras, otorgando flexibilidad, lo cual permite que el suelo se expanda o contraiga en algún grado.
- Reducir la expansión y contracción excesivas reforzando el suelo con un material fibroso.

Antes de elegir el estabilizador más apropiado habrá que responder a las siguientes interrogantes:

¿Satisface el suelo disponible los requisitos principales, aún sin estabilizar?

¿Tiene en cuenta el diseño de la edificación las características y limitaciones del material, como barreras impermeabilizantes, aleros anchos, etc.?

¿Es necesario estabilizar toda la construcción o será suficiente una protección superficial?

Los **estabilizadores disponibles en la naturaleza** comúnmente empleados son:

- **Productos naturales** como: arena, arcilla, paja, fibras vegetales, cenizas de madera y otros.
- **Productos manufacturados** como: cemento portland, cal, yeso, asfalto, vidrio soluble y resinas sintéticas en otros.

Como se ha dicho con anterioridad, ciertos suelos no cumplen algunos de los requisitos establecidos para su empleo en los diversos elementos de una edificación, por lo que para resolver esta situación se utilizan diferentes materiales que se engranan a dichos suelos, antes o durante la preparación de la pasta. Sin embargo, no todos los aditivos o estabilizantes actúan sobre las mismas deficiencias de los suelos, ni con la



misma efectividad, y por otra parte, su capacidad de acción va a estar en función del tipo de suelo en que se empleen.

Será necesario conocer en qué proporciones deberá incorporarse el aditivo al suelo, pues con una cantidad insuficiente no se obtendrá el mejoramiento esperado, y con un exceso siempre encarecerá el trabajo y en algunos casos se obtendrán resultados desventajosos. Para emplear con eficiencia los aditivos, el procedimiento adecuado consistirá en analizar cual suelo con el laboratorio, para determinar cual será el tipo a utilizar y conociendo esto, puntualizar:

¿Qué propiedades no cumple el suelo?

¿Cuál o cuáles son los aditivos indicados para mejorar estas deficiencias?

En países donde se utiliza de manera habitual y extensiva el suelo para construir edificaciones, y en los que se investigan las posibilidades de mejoramiento de este material, existe una relación de los suelos más comunes que pueden ser usados en edificaciones, así como los resultados de ensayos de laboratorio a cada uno de ellos, ofreciendo cada una de las características necesarias para evaluar la posibilidad de su empleo. Así mismo, se tiene acumulada por la experiencia práctica y la investigación la información necesaria y por lo tanto para determinar el empleo de aditivos estabilizantes, existen dos alternativas:

- a. Realizar ensayos de laboratorio con el suelo en cuestión y los aditivos escogidos
- b. Consultar la información existente de otros países, para suelos con características similares a las del suelo escogido.

Es indudable que en la primera alternativa será necesario desarrollar una investigación para conocer las propiedades del suelo para caracterizarlo mediante los **ensayos de**



laboratorio, y para ello se deben elaborar especímenes incorporando al suelo diversos aditivos en diferentes proporciones. Esta alternativa resulta recomendable en aquellos casos en que las insuficiencias del suelo, la importancia de la obra, las exigencias específicas de calidad en algunas propiedades, el volumen de las construcciones a ejecutar u otro motivo similar lo determinen.

La segunda alternativa presupone disponer de una información que permita establecer analogías con los suelos nacionales para tomar decisiones que esté basadas en comparaciones y asunciones, y por lo tanto, los resultados finales que se obtengan no coincidirán exactamente con las expectativas iniciales.

Aditivos más frecuentemente utilizados. A continuación se indican los aditivos que con mayor frecuencia se utilizan, y su acción sobre los suelos:

Cemento Portland. Es el más efectivo y universal de todos, pues aumenta la cohesión de las partículas del suelo y su capacidad de carga; disminuye el grado de absorción de agua y aumenta las resistencias mecánicas y frente a la acción de las lluvias disminuye la retracción y aumenta la resistencia al desgaste. Su efectividad es mayor en suelos arenosos que en suelos arcillosos. Se emplea en proporciones del 4 al 12 %. Su principal desventaja consiste en que es el aditivo más caro y el que consume mayores recursos energéticos en su proceso de producción.

Hidrato de cal. Le sigue el cemento en efectividad, con similares propiedades de mejoramiento, exceptuando lo referente a la resistencia a la humedad y al desgaste, parámetros en los que su actividad es menos efectiva. Su empleo da mejores resultados en suelos arcillosos. Se utiliza en proporciones del 2 al 10 %.

Yeso hemidrato. Aumenta significativamente la cohesión entre las partículas del suelo, disminuyendo paralelamente la retracción; además puede duplicar las resistencias mecánicas del suelo. Respecto a las restantes propiedades, actúa sobre ellas pero con una efectividad mucho menor que el cemento. Resulta más conveniente emplearlo en los suelos arenosos que en los arcillosos. Se utiliza en proporciones del 10 al 20 %.



Asfalto. Aumenta en buena medida la cohesión de las partículas del suelo, disminuye el grado de absorción de agua y aumenta la resistencia contra la lluvia. Mejora en menor grado la capacidad de carga y la resistencia al desgaste y a la rotura. No actúa sobre la retracción. Es más efectivo en los suelos arenosos que en los arcillosos. Se recomienda emplearlo preferentemente en forma de emulsiones, para facilitar la mezcla con el suelo. Se emplea en proporciones del 2 al 6 %.

Arena. Disminuye la retracción y mejora en cierta medida la resistencia al desgaste y a la rotura. No actúa sobre el resto de las propiedades. No es efectiva en suelos arenosos. En suelos arcillosos, en dependencia de su contenido de arena, podrá emplearse en proporciones hasta de 25 %.

Fibras vegetales. Disminuyen considerablemente la retracción y mejoran en menor grado la capacidad de carga, la cohesión entre las partículas del suelo y la resistencia al desgaste y a la rotura. No actúan sobre el grado de absorción de la humedad, ni sobre la resistencia a la acción de la lluvia. No resultan efectivas en suelos arenosos. Se recomienda emplearlas en longitudes entre 5 y 15 cm, prefiriéndose las más cortas, que afectan en menor medida la laboralidad. Se emplean en proporciones del 10 al 20 % en volumen suelto, respecto al volumen suelto del suelo seco; o en cantidad de 15 Kg de fibra vegetal por cada metro cúbico de suelo seco.

Goma de tuna. Se emplea específicamente para aumentar la impermeabilidad de los morteros elaborados con mezclas de suelo y fibras vegetales, que se utilizan como repellos para proteger los muros y cubiertas de suelo contra la acción de la humedad y de la lluvia.

Con excepción de las fibras vegetales las cantidades de los restantes aditivos que se han indicado en cada caso, vienen dadas en tanto por ciento del peso seco del suelo.

Una vez consultada y analizada toda la información se concluye que, de forma general para la selección de los estabilizadores es muy importante conocer sus características y como utilizarlos correctamente. Además la selección de cada estabilizador estará



condicionada a las posibilidades económicas y de suministro con que cuenta cada productor. Será necesario a partir de toda la información comprobar la veracidad de los porcentajes de los estabilizadores y la influencia de los índices de plasticidad del suelo en la selección de los mismos.

Estabilización con cemento Portland.

Para suelos arcillosos los resultados de investigaciones han demostrado que cantidades relativamente pequeñas de cemento floculan los granos finos, debido a la combinación del cambio de base producido por el efecto químico superficial entre las partículas de arcilla y el cemento y a la acción cementante, formando pequeños conglomerados o nuevos granos de suelos, los cuales están envueltos en una matriz: el cambio de base reduce la afinidad del suelo por el agua y además reduce la capacidad de retención de agua de los suelos arcilloso, lo que unido a la floculación, producen una disminución de la plasticidad del suelo. Esta estabilización aumenta la resistencia a la compresión, a la tracción y a la acción del agua.

Es importante lo que plantea Schildeman y Roland Stutz: *la reacción del cemento con el agua forma una matriz pétreo que une el esqueleto de arena. Esta matriz está formada por una estructura semejante a la de un panal de abejas, de la cual depende la resistencia de la mezcla, ya que los conglomerados arcillosos dentro de ella tienen baja resistencia a los esfuerzos mecánicos y a la humedad y contribuyen poco a la del suelo-cemento en su conjunto. La matriz fija los conglomerados entre sí, evitando que las partículas del suelo se deslicen una sobre otras, o sea, incrementa la resistencia a cortante.*

El mecanismo de estabilización con cemento Portland se puede resumir de la siguiente manera: la hidratación provoca la formación de un gel de cemento en la superficie del aglomerante arcilloso. La cal liberada durante la hidratación del cemento reacciona con la arcilla. La cal es rápidamente consumida y la arcilla comienza a degradarse; mientras progresa la hidratación y se activa la degradación del aglomerante arcilloso, este es



penetrado en profundidad por el gel del cemento y la hidratación continúa, pero más lentamente.

De lo antes expuesto, se puede concluir que en el suelo estabilizado con cemento se obtienen tres estructuras:

- ✚ Una matriz arenosa inerte aglomerada con cemento.
- ✚ Una matriz arcillosa estabilizada.
- ✚ Una matriz de tierra no estabilizada, que resulta la parte más vulnerable por el agua del sistema.

Roland Stulz y otros autores han planteado: *“la reacción del cemento con el agua libera hidróxido de calcio que reacciona con las partículas de arcilla dando lugar a una unión puzolánica. Si el contenido de arcilla del suelo es bajo parte de la cal permanecerá libre. Esto se puede remediar utilizando cemento Portland con adición de puzolana, el cual es más barato que el cemento Portland puro”*.

Pero con suelos arcillosos la posibilidad de eliminar o disminuir la matriz arcillosa, no estabilizada, reside en que éste reaccione con la cal liberada en la hidratación del cemento, o con cal añadida a la mezcla; en presencia de material puzolánico, este último, por ser más activo, reaccionará primero con la cal, pudiendo quedar matriz arcillosa sin estabilizar.

En cuanto al comportamiento mecánico del suelo estabilizado se le da a la absorción el mayor peso en la influencia de la durabilidad, incluso por encima de las resistencias mecánicas, sobre las que esta influye. La absorción puede ser muy alta, llegando a alcanzar hasta 30 y 40 %; lo que proporcionaría un alto grado de permeabilidad y capilaridad, a la vez que hace que la resistencia varíe con el por ciento de humedad. Los autores consultados coinciden en recomendar valores de absorción de agua para suelos arcillosos mucho menores que para los granulares, dado el efecto dañino del movimiento de agua en el interior de la estructura para este tipo de suelo. Sin embargo, para lograr tales valores de absorción en este tipo de suelo, se requieren contenidos de cemento tan



altos, que resulta más económico acudir a otros métodos de protección o no utilizarlos en medios expuestos a las variaciones de humedad.

En las características mecánicas del suelo- cemento van a influir varios factores entre los que se incluyen:

- Tipo de proporción del suelo, material cementante y contenido de agua.
- Compactación.
- Uniformidad del mezclado.
- Condiciones de curado.
- Edad de compactación de la mezcla.

En cuanto al tipo de proporción del suelo, material cementante y contenido de agua se ha visto que los suelos granulares son superiores en calidad a los arcillosos. Existen recomendaciones sobre la base de la clasificación de AASSTHO de los suelos, desde A-1 hasta A-4, como los mejores para estabilizar con cemento y los A-6 y A-7 para estabilizar con cal. Pueden encontrarse suelos A-6, con contenidos de arcilla próximos al 10 % con buenas condiciones para ser estabilizados con cemento Portland. Será la humedad óptima la que determine el contenido de agua de la mezcla de suelo estabilizado.

La elección del tipo de cemento es importante. Como se ha visto los cementos con adición de materiales puzolánicos deberán preferirse en suelos granulares con bajos contenidos de arcilla, mientras que los Portland sin adición resultan preferibles para suelos con más de 10 % de arcilla.

1.2 EFECTOS E IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN

SOCIALES: Se espera ofrecer una herramienta a los fabricantes de **bloques de adobe** para la construcción de viviendas, que les permita fabricarlos con el aliciente de utilizar un producto de mayores posibilidades en cuanto a resistencia, durabilidad, estabilidad ante los agentes degradantes, y sobre todo a costos que no se aparten



sensiblemente de los que actualmente rigen su cotización. En definitiva se defiende su cultura ancestral respecto de sus viviendas, pero en base a un producto más competitivo.

AMBIENTALES: La construcción es en general invasiva al medio ambiente, para desarrollarla obliga a extraer de la naturaleza recursos naturales, en ocasiones no renovables, y se le devuelve materiales generalmente no degradables y además contaminantes. La construcción con tierra mejora significativamente este panorama y preserva el equilibrio ecológico quizá como ningún otro material.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN PRIMARIA DEL SUELO OBJETO DE ESTUDIO



2.1 INTRODUCCIÓN.

La Caracterización Primaria del Suelo desempeña un importante rol en la definición de su aptitud o idoneidad para su empleo en la construcción con suelo. Los ensayos tradicionales de laboratorio permiten igual esta caracterización, pero a un costo que no siempre es asequible a las posibilidades financieras de aquellos que se dedican a la fabricación de Adobes, Tapiales, Ladrillos, etc., a lo que habría que sumar la carencia de infraestructura de laboratorios de suelo en la Provincia de Loja. El investigador tuvo que sortear no pocos obstáculos para acceder a los servicios de uno de estos laboratorios durante la segunda etapa de la investigación (Capítulo III).

Ante esta realidad se abre un espacio en este Capítulo para describir cómo es posible realizar una caracterización primaria del suelo que evalúe su **idoneidad** con vista a la elaboración de adobe a partir de la fracción de arcilla que posea, mediante una amplia gama de pruebas y ensayos muy prácticos que requieren de un corto tiempo para su ejecución, y de poco o ningún equipo sofisticado de experimentación para realizarlos, razones ambas que les confiere absoluta factibilidad. Mediante la revisión de la literatura nacional e internacional a la que el autor pudo acceder, se identificaron varias de estas pruebas que por su pertinencia se deciden aplicar en la primera etapa de la investigación. La **Figura 2.1** ilustra el procedimiento que se siguió en esta etapa, y anuncia todas las pruebas que se aplicaron en la investigación, y todas ellas fueron utilizadas en la primera etapa del trabajo.

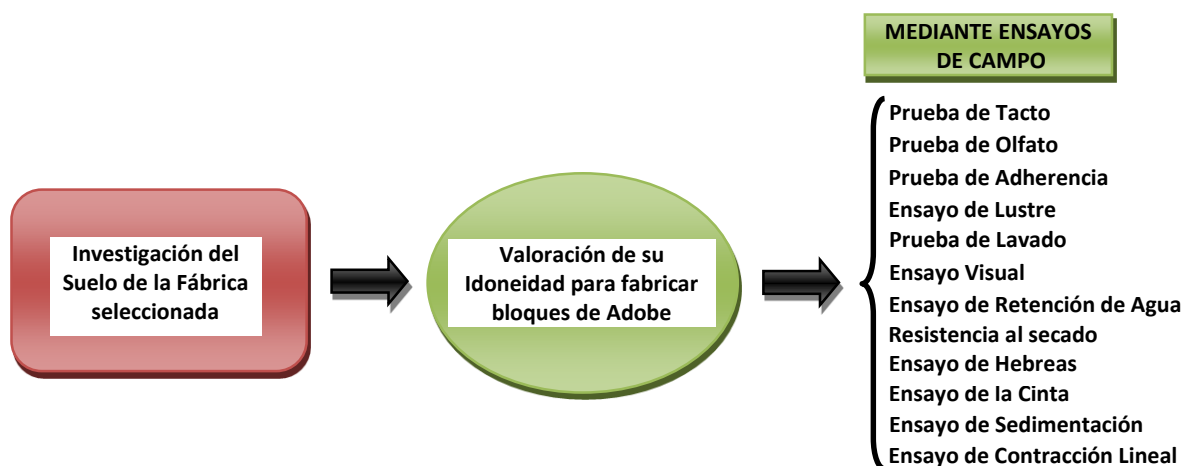


Fig. 2.1 Pruebas y Ensayos de Campo realizados al suelo para su clasificación primaria.



2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS INDICADORES (DE CAMPO).

En ciertos casos, la identificación empírica del suelo puede ser suficiente para pequeñas operaciones, pero normalmente son indispensables algunos ensayos indicadores como: *prueba de olfato*, *prueba de tacto*, *ensayo de lustre*, *ensayo de adherencia*, *ensayo visual*, *ensayo de retención de agua*, *ensayo de resistencia al secado*, *ensayo de hacer hebras*, *ensayo de la cinta*, *ensayo de sedimentación*, etc. Estos proporcionan información valiosa sobre la necesidad de realizar ensayos de laboratorio, especialmente si los ensayos de campo dan resultados contradictorios. No se necesitan realizar todos los ensayos pues esto puede ser tedioso, Sólo aquellos que dan una visión clara de las muestras, para excluir aquellas muestras con deficiencias. No solo es necesario obtener un material de calidad óptima, sino economizar costos, materiales estabilizadores (cemento), consumo de energía y de mano de obra.

Debemos enfatizar que la identificación del suelo por si sola no nos asegura un empleo correcto en la construcción o una utilización correcta. Las pruebas también son necesarias para evaluar el comportamiento mecánico del material de construcción.

ENSAYO: PRUEBA DE TACTO

EQUIPO: Ninguno.

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Después de sacar las partículas más grandes (grava), se frota una muestra de suelo entre los dedos y la palma de la mano.



Foto 2.1: Secado del suelo.



Foto 2.2: Prueba del tacto.



CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Un suelo **arenoso** se siente áspero y no tiene cohesión cuando se humedece.
2. Un suelo **limoso** se presenta ligeramente áspero así como también mantiene cierta cohesión cuando se humedece.
3. Un suelo **arcilloso** presenta terrones duros que se resisten a ser desmenuzados cuando están secos, pero que al humedecerlos se vuelven plásticos y pegajosos indicando un alto contenido de arcilla que lo **califica para realizar adobes**.

OBSERVACIONES: Se pueden realizar ensayos similares moliendo una pizca de suelo ligeramente entre los dientes (los suelos están generalmente bastante limpios).

ENSAYO: PRUEBA DE OLFATO

EQUIPO: Ninguno.

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Independientemente después de extraer el suelo, debe olerse, para detectar materia orgánica.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. De ser el caso que el **olor mohoso o rancio** se vuelve más fuerte al humedecer o calentar estos suelos, indica que no deben emplearse o ensayarse más debido a su alto contenido de material orgánico.

ENSAYO: ADHERENCIA

EQUIPO: Cuchillo

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Se conforma una pelota de suelo a la cual se le introduce un cuchillo.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Si el cuchillo penetra fácilmente indica que la cantidad de arcilla es baja. Los suelos arcillosos tienden a resistirse a la penetración y a pegarse en el cuchillo.



Foto 2.3: Resistencia a la penetración.



Foto 2.4: Se pega al cuchillo.

ENSAYO: DE LUSTRE

EQUIPO: Cuchillo

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Una bola de suelo ligeramente humedecida, recién cortada nos revelará una superficie opaca (indicando predominancia de limo) o una superficie brillante (indicando una mayor proporción de arcilla).



Foto 2.5: Suelo y equipo listo.



Foto 2.6: Superficie brilla parcialmente.

ENSAYO: LAVADO

EQUIPO: Tazón o caño de agua.

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Al lavarse las manos después de estas pruebas la manera en que el suelo se elimina nos da un mayor indicio de su composición: la arena y el limo son fáciles de retirar, mientras que la arcilla necesita ser frotada.



Foto 2.7: Suelo se pega parcialmente en la palma al manipularlo.

ENSAYO: VISUAL

EQUIPO: Dos cribas con mallas de alambre de 1 mm.y 2 mm.

DURACIÓN: media hora.

PROCEDIMIENTO: Con la ayuda de una criba de 1mm se separa las partículas de arena y gravas de los limos y arcillas, a los mismos se los coloca sobre una superficie limpia en dos montículos. Antes que nada podría ser necesario triturar los terrones de arcilla. Comparando los tamaños de los montículos es posible hacer una clasificación del suelo a grosso modo.



Foto 2.8: Suelos listos para la prueba.



Foto 2.9: Presenta granulometría semejante.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. El suelo es arcilloso si el montón de “limo + arcilla” es grande, una clasificación más perfecta requiere de otros ensayos.



2. Similarmente, el suelo es arenoso o pedregoso si el montón de “arena + grava” es más grande.
3. Un cernido con una criba de 2mm. nos revela si el suelo es pedregoso o arenoso.

En el caso del suelo arenoso o pedregoso, deberá humedecerse un puñado del material original (antes del cernido), hacerlo una bola u dejarlo secar en el sol. Si se parte al secar, se le llamará “limpio”, y no será adecuado para construcciones de tierra a menos que se mezcle con otros materiales.

Si el suelo no es “limpio”, el montón de limo y arcilla deberá emplearse para las pruebas siguientes.

ENSAYO: DE RETENCIÓN DE AGUA.

EQUIPO: ninguno.

DURACIÓN: Algunos minutos.

PROCEDIMIENTO: Se hace una bola del tamaño de un huevo de una muestra de material fino, añadiendo el agua necesaria para mantenerlo unido sin que se pegue a las manos. La bola se presiona suavemente en la palma curvada y se golpea fuertemente con la otra mano, agitando la bola horizontalmente.



Foto 2.10: Muestras preparadas.



Foto 2.11 Ensayo de golpes.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Cuando toma de 5 – 10 golpes para que brote a la superficie (liso, apariencia “uniforme”), se le llama reacción rápida. Cuando se presiona el agua



desaparece y la bola se desmenuza, indicando una *arena muy fina o limo grueso*.

2. Cuando el mismo resultado se obtiene con 20 – 30 golpes se llama reacción lenta, y la bola no se desmenuza pero se aplasta al ser presionada, la muestra es *limo ligeramente plástico o arcilla limosa*.
3. Si no hay reacción o esta es muy lenta, y no hay cambio de apariencia al ser presionada indica un alto contenido de arcilla.

5 a 10 golpes = rápido

20 a 30 golpes = lento

Más de 30 golpes = muy lenta.

ENSAYO: RESISTENCIA AL SECADO.

EQUIPO: horno si no hay sol.

DURACIÓN: cuatro horas para el secado.

1. **PROCEDIMIENTO:** Dos o tres muestras húmedas de la prueba anterior son aplastadas ligeramente a un espesor de 1 cm. Y de 5 cm de diámetro y dejadas secar completamente en el sol o en un horno. Al intentar pulverizar una pieza seca entre el pulgar y el dedo índice, la dureza relativa nos ayudará a clasificar el suelo:

NOTA: Se dio inicio al ensayo el 26 de septiembre de 2008 haciendo las bolitas.



Foto 2.12: Muestras preparadas para secado.



Foto 2.13: Secado giroscópico.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Si se rompe con gran dificultad y no se pulveriza, es *casi arcilla pura*.

2. Si puede triturarse hasta volverse polvo con poco esfuerzo, será arcilla arenosa o limosa.
3. Si se pulveriza sin ningún esfuerzo, será *arena fina o limo con poco contenido de arcilla*.

NOTA: Se rompió las muestras el 02 de octubre de 2008, a los siete días.



Foto 2.14: Preparadas para rotura.



Foto 2.15: Resistencia a rotura media.

ENSAYO: DE HEBRAS.

EQUIPO: Tabla plana. Aproximadamente de 30 x 30 cm.

DURACIÓN: 10 minutos.

PROCEDIMIENTO: Otra bola húmeda del tamaño de una aceituna se alisa sobre una superficie plana, formando una hebra. Si se rompe antes de que el diámetro de la hebra sea de 3 mm, será muy seca y se repite el proceso después de hacer la bola con más agua. Esto deberá repetirse hasta que la hebra se rompa cuando tenga exactamente espesor igual a 3 mm., indicando un adecuado contenido de humedad. La hebra se rehace nuevamente en una bola y se aprieta entre el pulgar y el índice.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Si la bola es dura de triturar, no se agrieta ni se desmenuza, tendrá un *alto contenido de arcilla*.
2. Si se rompe antes de formar una bola, tendrá un *alto contenido de limo o de arena*.
3. Si se siente algo esponjoso y suave significa que es un *suelo orgánico*.



Foto 2.16: Hebras $d= 3\text{mm}$.



Foto 2.17: Humedad requerida.



Foto 2.18: Bolitas a partir de hebras suelo 1.



Foto 2.19: Bolitas suelo 2.

ENSAYO: DE LA CINTA (TABLITA)

EQUIPO: ninguno

DURACIÓN: 10 minutos.

PROCEDIMIENTO: Con el mismo contenido de humedad que el de la prueba de hacer hebras, a una muestra de suelo se le da la forma de un cigarro de 12 a 15 mm de diámetro. Después se aplana progresivamente con el pulgar y el índice formando una cinta de 3 a 6 cm de espesor, teniendo cuidado de que se alargue tanto como sea posible.



Foto 2.20: Se prepara un cigarro.



Foto 2.22: Cinta de $e = 6\text{mm}$.

Foto 2.21: Presionar el cigarro.



Foto 2.23: La cinta se rompe.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Una cinta larga de 25 a 30 cm. Tiene un *alto contenido de arcilla*.
2. Una cinta corta de 5 a 10 cm. Muestra *poco contenido de arcilla*.
3. Si no se puede formar una cinta significa un *contenido de arcilla despreciable*.

ENSAYO: DE SEDIMENTACIÓN. (Hidrómetro)

EQUIPO: Frasco de vidrio cilíndrico de al menos un litro de capacidad, con una base plana y una abertura que pueda ser cubierta por la palma de la mano; regla grada en centímetro.

DURACIÓN: Tres horas.

PROCEDIMIENTO: En una botella transparente se vertirá la mitad de su volumen de agua y un cuarto de su volumen del suelo que se quiere analizar. Se deja empapar bien el suelo durante una hora, luego se le añade una cucharadita de sal común con la finalidad de ayudar a la precipitación de la arcilla, y con la abertura bien tapada, se sacude fuertemente el frasco y después se coloca sobre una superficie horizontal y se deja reposar durante ocho horas, observándose que el suelo se ha separado en tres capas que por lo general son fácilmente

diferenciables: una en el fondo que será arena, otra sobre la arena que será limo y finalmente sobre el limo la arcilla.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

La marca del nivel alcanzado por la arena en la botella se considera su nivel definitivo, y a partir de ella, se medirán los niveles de limo y de arcilla al cabo de ocho horas.

Se medirá la altura que ocupa el total del suelo sedimentado y se medirán cada una de las tres capas, determinándose finalmente el porcentaje que representa del total del sedimento cada una de las capas.

Sin embargo, los valores se distorsionan ligeramente ya que el limo y la arcilla se habrán expandido con el agua.



Foto 2.24: Hidrómetro realizado a suelos sin valoración previa

Del ensayo (*foto24*) se observa:

- Para el suelo A sedimentado en su totalidad al cabo de ocho horas con un $H_{total}=520cc - (100\%)$: El limo grueso hasta los 200cc con $H_1=200cc - (38.5\%)$, el limo fino desde los 200cc - 430cc con $H_2=230cc - (44.2\%)$ y la arcilla desde los 430 - 520cc con una $H_3=90cc - (17.3\%)$. Es de indicar que desde los 500cc - 800cc con $H_4=300cc$ el agua se presenta algo turbia y finalmente este suelo presenta rastros menor al 1% de contenido orgánico.

- Para el suelo B sedimentado en su totalidad al cabo de ocho horas con un $H_{total}=430cc - (100\%)$: El limo grueso hasta los 340cc con $H_1= 340cc - (79.1\%)$, el limo fino desde los 340cc – 430cc con $H_2= 90cc - (20.8\%)$. NOTA.- En el suelo B.- la arcilla desde los 430 – 700cc con una $H_3= 270cc - (no sedimenta)$, desde los 700cc – 800cc con $H_2= 100cc - (no sedimenta)$, desde los 800cc – 810cc con $H_2= 10cc - (materia orgánica)$.



Foto 2.25: Hidrómetro realizado a suelos con valoración previa.

Del ensayo (*foto25*) se observa:

- Para el “suelo 1” sedimentado en su totalidad al cabo de dos horas ya que se le agregó media cucharadita de sal con un $H_{total}= 300cc - (100\%)$: El suelo arenoso hasta los 160cc con $H_1= 160cc - (53.33\%)$, la arcilla-limosa desde los 160cc – 270cc con $H_2= 110cc - (36.67\%)$ y la arcilla desde los 270cc – 300cc con una $H_3= 30cc - (10.00\%)$. Es de indicar que desde los 300cc – 700cc con $H_4=400cc$ el agua se presenta transparente y sin presencia de contenido orgánico.
- Para el “suelo 2” están sedimentados al cabo de dos horas en su totalidad se le agregó media cucharadita de sal con un $H_{total}= 280cc - (100\%)$: El suelo arenoso hasta los 140cc con $H_1= 140cc - (50.00\%)$, el limo arcilloso desde los 230cc – 140cc con $H_2= 90cc - (32.14\%)$: Arcilla desde los 280 – 230cc con una $H_3= 50cc - (17.85\%)$. Es de indicar que desde los 280cc – 700cc con $H_4=420cc$ el agua se presenta transparente y sin presencia de contenido orgánico.



Foto2.26: Realizado a mezcla de suelos1+2 con valoración previa.

- **Para el suelo 1+2** el hidrómetro al cabo de 2 horas ensayo (*foto26*) están sedimentados al cabo de dos horas en su totalidad se le agregó media cucharadita de sal con un $H_{total} = 380cc - (100\%)$: El suelo arenoso hasta los 160cc con $H_1 = 160cc - (42.10\%)$, la arcilla-limosa desde los 160cc – 330cc con $H_2 = 170cc - (44.73\%)$ y la arcilla desde los 330cc – 380cc con una $H_3 = 50cc - (13.15\%)$. Es de indicar que desde los 380cc – 700cc con $H_4 = 320cc$ el agua se presenta transparente y sin presencia de contenido orgánico.

ENSAYO: CONTRACCIÓN LINEAL (LA CAJITA).

EQUIPO: caja larga de madera o de metal con dimensiones internas de 60 x 4 x 4 cm. (l x b x h), abierta; aceite o grasa; espátula.

DURACIÓN: 3 a 7 días.

PROCEDIMIENTO: Se basa en el procedimiento del instituto de Cemento Portland de Sao Paulo, Brasil para determinar la retracción de mezclas de suelo cemento. Las superficies interiores de la caja se engrasan para evitar que el suelo se pegue a ellas. En dicha caja se introduce suelo pulverizado, tamizado y mezclado con agua hasta que tenga una consistencia de mortero de albañilería, de forma que no queden vacíos en la masa dentro de la caja.





Foto 2.27: Fecha de inicio el 10 de febrero de 2010, *suelo sin estabilizar*.

Foto 2.28: Fecha de término de la prueba 18 de febrero de 2010: (8 días).

Tabla 2.1: % contracción de suelos sin estabilizar, prueba de La Cajita.

SUELO	Contracción (cm)	% contracción	Norma Vial	Observación
1	3.8	6.33	3%	Excede la norma
2	3.6	6.00	3%	Excede la norma
1+2	3.4	5.60	3%	Excede la norma

Elaborado: por el autor de la investigación.

La caja se sitúa en un lugar donde esté expuesta a los rayos solares durante 5 días o en la sombra por 10 días. En cualquiera de los dos casos deberá estar protegida de las posibles lluvias. Al concluir el tiempo especificado el suelo se habrá secado y contraído, en una sola pieza o en varias piezas, en este último caso se empuja a un extremo para cerrar los vacíos. La suma de la contracción respecto a la longitud total (600 mm) no deberá superar un 3% para el caso de suelos compuestos destinados para el uso en construcción vial.

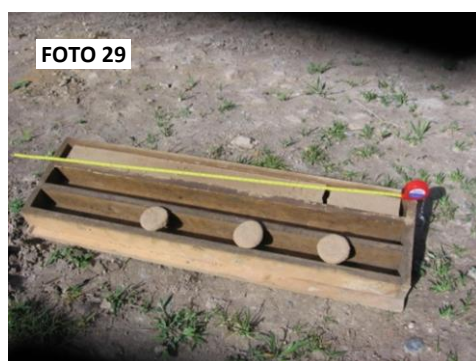


Foto 2.29: Se finaliza la prueba el 02 de octubre de 2008 (7 días).

Foto 2.30: Se mide la contracción lineal igual a 2.8 cm= 5%.



Se mide la longitud de la barra de suelo y la contracción lineal se calcula como sigue:

$$E_L = \frac{l_{bh} - l_{bs}}{l_{bh}} \times 100.$$

$$= \frac{60 - 57.2}{60} = 4.6 \%, \text{ excede la norma.}$$

Siendo:

EL: Contracción Lineal del suelo

l_{bh}: Longitud de la barra de suelo húmeda (valor estándar: 60cm)

l_{bs}: Longitud de la barra de suelo seca.

En la presente investigación se añadió al suelo (1+2) de la mezcla 6%, 8%, 10% de cemento y se obtiene:



Foto 2.31: Inicio de ensayo el 19-02-2010 con (6, 8, 10) % cemento.

Foto 2.32: Ensayo termina el 26-02-2010 contracción (20, 22, 25) mm.

Tabla 2.2: % contracción de suelo estabilizado con cemento, prueba de La Cajita.

SUELO	% Cemento	Contracción mm y %	Norma Vial	Observación
1+2	6.0%	25-----4.16	3%	Excede norma
1+2	8.0%	22-----3.66	3%	Excede norma
1+2	10.0%	20-----3.33	3%	Aceptable.

Elaborado: por el autor de la investigación.

CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

1. Para obtener buenos resultados en la construcción, el suelo debe contraerse o dilatarse lo menos posible; Mientras mayores son las contracciones del suelo, mayor es el contenido de arcilla, lo cual puede ser remediado añadiendo arena y/o estabilizador, que para nuestro caso es el cemento.

2.3 APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE CAMPO A LA MUESTRA DE SUELO TOMADA DE LA FÁBRICA ELEGIDA.

En el *Anexo 2.13* se muestra el resumen de la pruebas y ensayos de campo aplicadas a la muestras de suelo tomadas en las minas y en la fábrica.



2.4 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO QUE RESULTE IDONEO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO.

Resulta evidente comprender la razón de este grupo de ensayos en cuanto al *tipo de suelo* que luego de que se han realizado una valoración de la idoneidad mediante ensayos de campo a los suelos que tradicionalmente son utilizados por los fabricantes de adobe de la localidad.

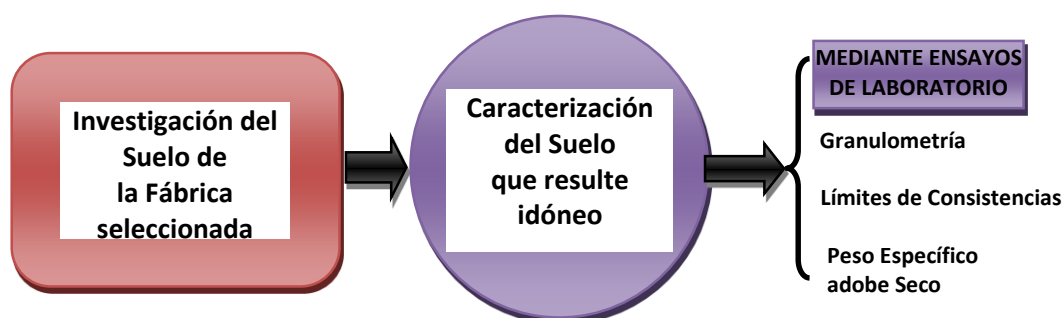


Fig. 2.2 Proceso para caracterización del suelo.

2.4.1 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

En los procedimientos tradicionales que se siguen para la fabricación de bloques, generalmente no se emplea *energía de compactación* alguna y como la pretensión es acercarse tanto cuanto se pueda el resultado de esta investigación a la cultura ancestral de la región andina, se decide no considerarla como variable. La práctica generalizada demuestra que para cuando el porcentaje de arcilla en un suelo es muy alto tendrá mucha retracción y mala calidad, por tanto recordamos que con fines didácticos se muestra la *tabla 2.3* que se conoce en la literatura mundial como *composición ideal de un suelo*.

Tabla 2.3: Composición ideal de un suelo *dirigida al uso vial*.

Tamaño del material	% en peso de la muestra.
Arcilla (tamiz 200)	(15 – 20) %
Limo (tamiz 10)	(10 – 20) %
Arena (tamiz 3/8)	(50 – 65) %
Grava (tamiz 1”)	(0 – 20) %

Elaborado: por el autor de la investigación.



Pero ¿requiere la misma composición granulométrica un adobe, que un suelo para tapial o para un ladrillo comprimido? Realmente **esta composición granulométrica va dirigida al uso vial** y para el caso de cumplir con lo requerido en la construcción de edificaciones en la presente investigación luego de realizar los ensayos de granulometría se pudo establecer los valores de la **tabla 2.4**.

Tabla 2.4: Resultados de ensayos de granulometría a las minas utilizadas actualmente por el Sr. Francisco Paucar.

ABERTURA de tamiz en PULGADAS	Tipo De material	TAMICES (mm)	% QUE PASA EN PESO				
			Suelo ini. Mezcla	SUELO A	SUELO B	RG-8 mezcla	Suelo final. Mezcla
1"	Grava	25.4	100	100	100	100	100
¾"	Grava	19.1	100	100	100	100	100
3/8"	Arena	9.5	96.74	99.12	100	99.25	100
Nº4	Arena	4.75	94.75	97.91	98.96	97.97	99.02
Nº10	Limo	2.0	90.33	95.51	95.69	94.10	95.26
Nº40	Limo	0.42	66.96	82.14	80.94	72.31	81.44
Nº200	Arcilla	0.074	42.56	59.38	56.58	48.55	63.81

Elaborada por el autor luego de analizar granulometrías de los suelos empleados en la investigación. Ver Anexos 2.-(1,3,5,7,9)

Se puede cumplir fácilmente con la regla general, de que cualquier suelo puede ser empleado para obtener suelo estabilizado, pero realmente no todo suelo puede ser empleado para la fabricación artesanal de adobe bien sea por su granulometría, por su clasificación o por la forma en que se fabrican los adobes, en el presente caso es un procedimiento totalmente artesanal y los suelos con alto contenido de arena gruesa están descartados debido a que desgastan fácilmente la piel y manos de los obreros del adobe. Los suelos muy finos pueden necesitar una corrección de su granulometría, lo cual se puede lograr mezclando con arena o con cualquier otro suelo granular, de forma tal que se obtenga un material que se enmarque dentro de las especificaciones que presentamos a continuación fruto de nuestra investigación la misma que se adapta totalmente para la forma en que se trabajan los suelos en nuestra región y particularmente en el cantón Saraguro resultó ser la que se presenta en la **tabla 2.5** tanto por trabajabilidad artesanal, mínima retracción.



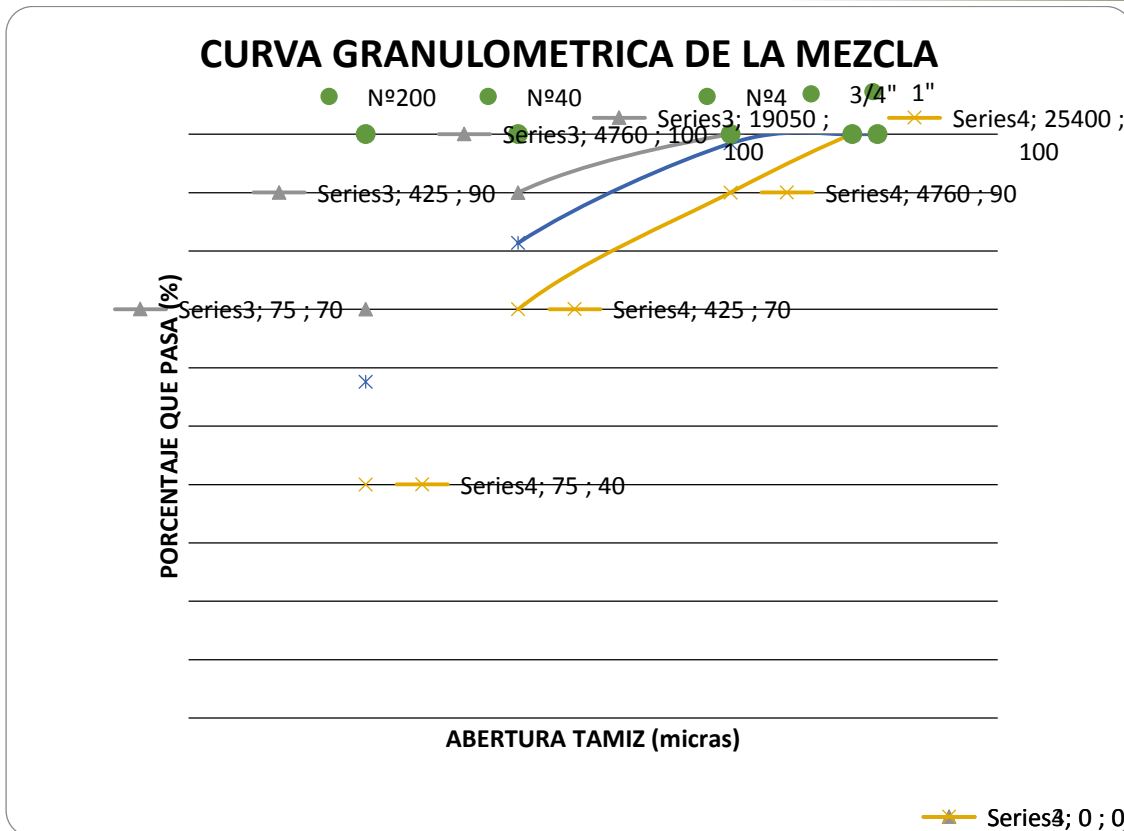
Tabla 2.5: Especificaciones locales para tamaño de las partículas de suelo, para adobe. (PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN)

ABERTURA en	Tipo De material	TAMICES (mm)	% QUE PASA EN PESO		
			SUELO A	SUELO B	Especif. Locales
1"	Grava	25.4	100	100	max---min
¾"	Grava	19.1	100	100	100====100
3/8"	Arena	9.5			
N°4	Arena	4.75	97.91	98.96	100====90
N°10	Limo	2.0			
N°40	Limo	0.42	82.14	80.94	90====70
N°200	Arcilla	0.074	59.38	56.58	70====40

Elaborada por el autor luego de analizar granulometrías de los suelos. Ver Anexos 2.1, 2.3, 2.5, 2.7, 2.9

A partir de las especificaciones de puede trazar la **grafica 2.1** que muestra los valores máximos y mínimos dentro de los cuales se encuentran los suelos utilizados en el sector para la fabricación de adobe, esta criba determina **el suelo a ser estabilizado, ver tabla**

2.6 Especificaciones Locales para todas las aberturas de los tamices. Ver **Anexo 2.11**.



Gráfica 2.1: Valores máximos y mínimos para suelos utilizables en adobe.

2.4.2 ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (Atterberg.)

En la **tabla 2.6** se muestra resultados de los ensayos de clasificación realizados a los diferentes suelos que se analizaron en la presente investigación, mismos que al ser comparados con los sistemas de clasificación SUCS (ver Anexo 2.14) y AASHO (ver Anexo 2.15) se los denomina como suelos limo – arcillosos.



Tabla 2.6: Resultados de clasificación de suelos (límites de consistencia).

	Suelo Mezcla inicial.	SUELO A	SUELO B	RG-8 mezcla	Suelo final. Mezcla
GRAVA %	5	2	1	2	1
ARENA %	52	39	42	49	36
FINOS %	43	59	57	49	63
LL. %	39	47	35	39	44
LP. %	25	37	29	32	27
IP. %	14	10	6	7	17
SUCS	SC	ML	ML	SM	ML
AASHTO	A-6	A-5	A-4	A-4	A-7-6
IG(86)	3	6	4	3	9
IG(45)	3	6	4	3	9
ACTIVIDAD	0.32	0.17	0.11	0.14	0.27.

Elaborada por el autor a partir de los ensayos de clasificación de suelos. Ver Anexos 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 y 2.10

Tomando en cuenta la enorme disponibilidad de estos recursos en la región sur de nuestro país y específicamente en la localidad de estudio es de importancia recomendar el presente con la finalidad de insertar nuevas alternativas tecnológicas de construcción.

2.4.3 ENSAYOS DE PESO ESPECIFICO SECO DE LOS ADOBES

El punto más vulnerable de los adobes es la desintegración con el agua, esta preocupación es la que hace surgir el concepto de estabilización; este término aparece con frecuencia para designar aquellos procedimientos mediante los que se pretende mejorar las características naturales (resistencia mecánica, conductividad térmica, impermeabilidad, entre otras) de la tierra como material de construcción. Sin embargo la compactación persigue reducir al máximo el volumen de vacíos entre las partículas del suelo, aumentando su densidad y disminuyendo su porosidad y por tanto las variaciones de volumen debidas a la presencia de agua.



Históricamente la capacidad de un suelo para reducir su volumen de vacíos ha sido evaluada sobre la base del ensayo de Proctor como lo expresa el Profesor cubano N. Navarro en su libro “SUELO CEMENTO: Fundamento para su aplicación en Cuba”. “La mezcla de suelo cemento se compactará de forma similar al suelo queriendo decir que alcance su densidad máxima al ser compactado, cuando el mismo alcance el contenido de humedad equivalente a la humedad óptima, ambas determinadas en el ensayo del Proctor” lo cual a juicio del autor es válido en obras viales para las cuales fue establecido y donde se aplica una energía de compactación acorde a la del ensayo del proctor ver *tabla 2.7 (recomendaciones sobre densidad seca de los suelos)* y no para elementos de suelo estabilizado (adobe) fabricados artesanalmente y con poca o casi ninguna energía de compactación.

Tabla 2.7: Recomendaciones sobre la densidad de los suelos.

Densidad seca (Kg/m ³)	Evaluación
1650-1760	Pobre
1760-2100	Muy satisfactorio
2100-2200	Excelente
2200-2400	Excepcional

Fuente: Suelos Aptos para la Estabilización, (5p, 2004, Loja, EC.). 2004 Propiedades del Suelo. Memorias. CUBA, CUJAE.

Por tanto con la finalidad de tener un conocimiento más cercano de la densidad de los adobes objeto de la presente investigación se preparó la *tabla 2,8* a partir de las dimensiones de algunos de ellos tomando en cuenta la edad de 14 y 28 días ya que deben estar secos higroscópicamente por tanto para mayor seguridad no se consideró para este cálculo los adobes de 8 días de edad y por otro lado los diferentes contenidos de cemento (0%, 6%, 8%, 10%).



Tabla 2.8: Densidad de Adobes.

14	0	5450	14.5	7.56	27.4		
14	0	5420	14.2	7.52	27.9		
14	0	5380	14.3	7.59	27.6		
28	0	5400	14.2	7.42	27.8		
28	0	5390	14.4	7.65	27.5		
		5408	14.32	7.55	27.64	2988.32	1809
Edad (días)	(%)C.	Peso (Kg)	Base (cm)	Altura (cm)	Prof. (cm)	Vol. (cm ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
14	6	5600	14.82	8.1	29.3		
14	6	5780	14.64	8.2	29.2		
28	6	5790	14.75	8.0	29.0		
28	6	5730	14.81	8.1	29.0		
28	6	5740	14.80	8.2	29.2		
		5728	14.76	8.12	29.14	3493.41	1639
Edad (días)	(%)C.	Peso (Kg)	Base (cm)	Altura (cm)	Prof. (cm)	Vol. (cm ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
14	8	6095	15.00	8.3	29.5		
14	8	6085	14.86	8.2	29.3		
14	8	5990	15.18	8.2	29.4		
14	8	5945	14.90	8.3	29.3		
28	8	6005	15.05	8.1	29.4		
28	8	6055	14.95	8.3	29.3		
28	8	6080	15.08	8.2	29.3		
		6037	15.00	8.23	29.36	3625.18	1665
Edad (días)	(%)C.	Peso (Kg)	Base (cm)	Altura (cm)	Prof. (cm)	Vol. (cm ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
14	10	6255	15.05	8.4	29.4		
14	10	6100	15.12	8.3	29.5		
28	10	6155	15.22	8.5	29.5		
28	10	6280	15.16	8.2	29.3		
		6198	15.79	8.35	29.43	3719.90	1666

Elaboración: Autor de la investigación.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO

III

**ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DEFINIR
LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE
ESTABILIZACIÓN, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**



3.1 ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DEFINIR LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE ESTABILIZACIÓN

A continuación se describen los procedimientos a seguir en cada uno de los dos momentos que se identificaron.

PRIMER MOMENTO: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO PROBABILÍSTICO DE ÁREAS.

Para aplicar el método de muestreo probabilístico primeramente es necesario identificar el universo objeto de investigación. Se puede tratar en este caso de una Parroquia, un Cantón, una Provincia, una Región o incluso un País. En la medida en que el universo es mayor, mayor serán los recursos que demanda la investigación, y como el fin de esta no es precisamente ofrecer un resultado único que pueda utilizarse en cualquier región, si no *establecer una metodología que sea generalizable al estudio del “universo muestral”*, se decidió adoptar como universo, el material acopiado en una cualquiera de las Fábricas del Cantón Saraguro que en la actualidad producen empíricamente bloques de arcilla (ladrillo).

¿Qué fortalezas tiene esta decisión? Primero, que se estaría estudiando un suelo que la evidencia histórica lo convalida como idóneo para producir bloques de adobe, pues la propia intuición heredada de generación en generación ha permitido que el hombre andino haya ubicado estas Fábricas próximas a suelos aptos para este fin. Segundo, porque al reducir el universo los recursos resultan manejables por el investigador, y por último porque lo que se pretende es generalizar no resultados numéricos, a manera de una receta, sino una metodología para ser aplicada localmente que sea posible de recrear por lo práctica al tiempo que cuenta con un amplio sustento en el campo de la mecánica de suelos así como de el hecho de cada uno de sus momentos de investigación está respaldado por el más acertado de los procedimientos estadísticos garantizando idoneidad.



¿En qué consiste el *Método Probabilístico de Áreas*? Los siguientes Pasos procuran describirlo secuencialmente.

PASO 1: Seleccionado el Universo, se lo divide en *áreas homogéneas* mediante el trazado de una cuadrícula cuyas dimensiones dependerán de la superficie total que se desee estudiar. Para el universo seleccionado en esta investigación (material acopiado en una de las Fábricas de Saraguro), la propuesta es definir cuadrículas de 0.50m x 0.50m o múltiplos de estas dimensiones, y hasta 36, numerándolas secuencialmente a partir de 1. La **Figura 3.1** ilustra esta idea.



Fig. 3.1 División del “universo” en áreas homogéneas

PASO 2: Seleccionamos del universo, la muestra que ha de estudiarse. Esta selección se realiza mediante el *Método de Muestra Probabilística Sistemática*, que consiste en:

- ☞ Numerar la totalidad de los elementos del universo (1, 2, 3,36);
- ☞ Calcular el tamaño muestral (n);
- ☞ Calcular el intervalo de selección (F), dividiendo el universo por la muestra;
- ☞ Sortear el número desde cero hasta el que indique el intervalo de selección para determinar el número inicial (primer elemento) de la muestra; y,
- ☞ A partir del número inicial, sumar sistemáticamente el intervalo de selección hasta completar el tamaño muestral (n).

Este procedimiento se instrumenta luego cuando se describa la Técnica a emplear.



SEGUNDO MOMENTO: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EXPERIMENTOS PUROS.

El método se fundamenta en un diseño cuantitativo en el que predomina la técnica experimental. Los diseños cuantitativos son de dos tipos: experimentales y no experimentales.

Son **Diseños Experimentales** aquellos que pueden abordarse desde un punto de vista general o particular. Desde lo *general* se refiere a “**elegir o realizar una acción**” y después observar las consecuencias (Babbie 2001). La esencia de esta concepción de experimento es que presupone la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados. En la **Figura 3.2** se muestra un esquema de la relación causa-efecto que define, a su vez, la relación variable independiente-variable dependiente.

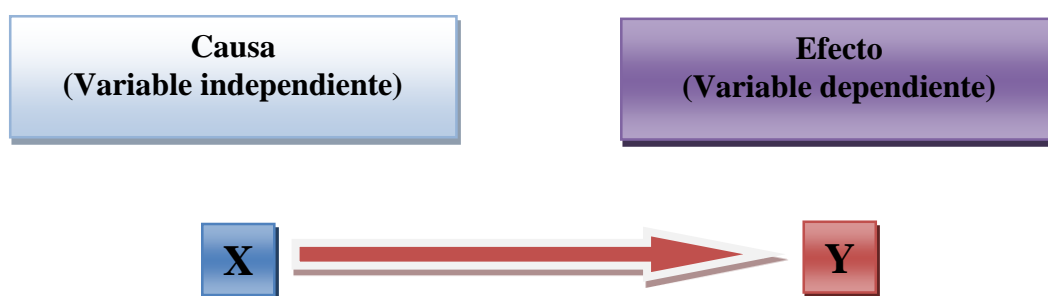


Fig. 3.2 Esquema del experimento y variables

Desde lo *particular*, la técnica se refiere a un estudio en el que se **manipulan intencionalmente una o más variables independientes**, (supuestas causas-antecedentes) para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes) dentro de una situación de control para el investigador. Esta definición quizá parezca compleja, sin embargo, conforme se analicen sus componentes se aclarará el sentido de la misma. Creswell (2005) denomina a los **experimentos** como estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella, en comparación con quienes no lo hacen. Es posible experimentar con seres humanos, seres vivos y ciertos objetos.



Definitivamente los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes), y las observaciones de sus efectos sobre otras variables (las dependientes), idea que se expresa en la **Figura 3.3**

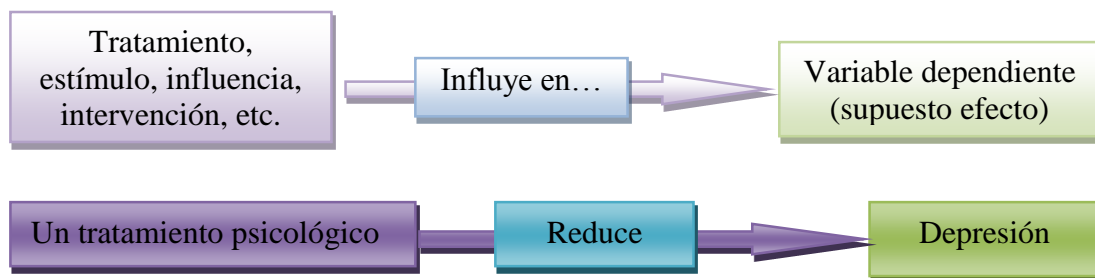


Fig. 3.3 Ejemplo de relación de variables independiente y dependiente

En un experimento, para que una variable se considere como independiente debe cumplir con tres requisitos: que anteceda a la dependiente, que varíe o sea manipulada y que ésta variación pueda controlarse.

La variable dependiente no se manipula, sino que se mide para ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene sobre ella, concepto que se resume en la **Tabla 3.1**

Tabla 3.1: Identificación de las Variables Independientes para esta investigación⁸

Manipulación de la variable Independiente	Medición del efecto de la variable Dependiente
X_1 (6% de cemento)	Y (Resistencia a la compresión simple del bloque de adobe estabilizado)
X_1 (8% de cemento)	
X_1 (10% de cemento)	
$X_2 = \% \text{ agua}(37-39\%)$	
X_n	

REQUISITOS DE UN EXPERIMENTO:

⁸ La letra “X” suele utilizarse para simbolizar a las variables independientes o tratamiento experimental, mientras el subíndice “1, 2...” indica los distintos niveles de variación de la variable independiente. De otro lado la letra “Y” suele utilizarse para representar a la variable dependiente, es decir, a la causa que se desea evaluar.

- Manipulación intencional de una o más variables independientes ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$)
- Medir el efecto que cada variable independiente tiene sobre la variable dependiente (Y).
- Cumplir con el **control** o la **validez interna** de la situación experimental (Esta Investigación utilizará como grupo de control, a los bloques de adobe que se elaboran de forma empírica en la fábrica tradicional que se seleccione, denotándolo por **RG8**)

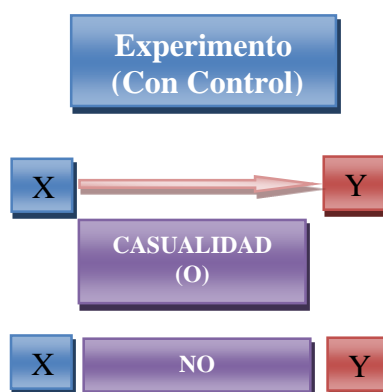


Fig. 3.4 Experimentos con control de las variables

3.1.1 TECNICAS EMPLEADAS

1 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL DEL SUELO A ESTUDIAR

Descrito el **MÉTODO DE MUESTREO PROBABILÍSTICO DE ÁREAS** que se aplicará, la Técnica exige asignar valores a las incógnitas que aparecen en los procedimientos del método.

Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Definir el **Universo** para esta investigación. El Universo se identificará a partir del acopio de la Planta que se seleccione, dividiéndolo en una cuadrícula en la que cada celda tendrá dimensiones de $a/6 \times b/6$, siendo **a**, **b** las dimensiones



del acopio, generándose así 36 celdas iguales ($N=36$), ya sean rectangulares o cuadradas.

- Establecer el tamaño óptimo de la **Muestra**. El Tamaño dependerá del error máximo admisible que se establezca (**E**), y además de su rango de variabilidad a partir de los valores que se asignen a las variables **p** y **q** [**p(+, aceptación) →q(-, rechazo)**].

Como quiera que sea partimos de analizar un suelo que tradicionalmente se viene utilizando para la elaboración de los bloques de adobe, lo mismo el error que los rangos de aceptación y rechazo deben ajustarse a esta realidad. No resulta igual analizar un suelo cuya aptitud esté por probarse, que otro que hace muchos años se viene usando para estos fines. Definitivamente se fijarán entonces los siguientes valores:

E = 0.05 (5%)

P = 0.90 (90% de aceptación)

Q = 0.10 (10% de rechazo).

Existen numerosas expresiones para evaluar el tamaño de la muestra a partir de las variables anteriores; esta investigación recurre a la siguiente⁹, también se indican dos ecuaciones presentes en el Manual Práctico de Balbuca¹⁰.

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q}{\left[(N - 1) \left(\frac{E}{K} \right)^2 \right] + (p \cdot q)}$$
$$n = \frac{p \cdot q}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{p \cdot q}{N}}$$
$$n = \frac{N}{1 + e^2 \cdot N}$$

⁹ Pazmiño, C., I. "Investigación Científica. Tiempo de Investigar". Ed. 2da. HOLOS. Grupo Leer. ISBN 9978-42-390-7. Quito. Ecuador. 2006.(Pág. 15)

¹⁰ Las ecuaciones 2^{da} y 3^{ra} presentes en el Manual Práctico de Balbuca para desarrollar Proyectos de Investigación y Tesis. Ed. 1ra. Loja. Ecuador. 1998.(pág. 97)



La variable K que representa la constante de corrección del error se fija según el siguiente criterio:

Para un valor de $(p \cdot q = 0.25)$ se fija $K = 2$, mientras que para otros valores se puede determinar mediante una regla de 3. Siendo así se tendrá:

0.25	2
0.09	K_x

$$\therefore K_x = \frac{2(0.09)}{0.25} = 0.72$$

$$\therefore n = \frac{36(0.90)(0.10)}{\left\{ (36 - 1) \left(\frac{0.05}{0.72} \right)^2 + [(0.90)(0.10)] \right\}} = \frac{32.4}{2.43 + 0.90} = 12.52$$

2 Identificar el INTERVALO DE SELECCIÓN (F)

El *intervalo de selección* (F) se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{N}{n} = \frac{36}{12.52} = 2.87 \approx 3$$

- Identificar mediante un procedimiento de sorteo el número de la primera celda que se ubica entre la No. 1 y la No. F, definiendo así el intervalo de selección (1, F)

Ajustando el procedimiento a los resultados que ya se tienen, el intervalo resulta ser **(1, 3)**, de manera que se colocan en tres porciones de papel los números 1, 2 y 3. Colocados estas porciones en un ánfora se selecciona al azar una de ellas (sorteo), y la que resulte seleccionada representará el número de la celda inicial.



- Seleccionar todas las celdas de las cuales se extraerán las unidades de análisis.

A partir de la celda identificada con el número sorteado en el paso anterior, se irá sumando sistemáticamente el valor de F hasta completar el tamaño muestral (n). De manera que si a la primera celda le corresponde el valor i , a la celda ($i+1$) le corresponde el valor ($i + F$), hasta completar el tamaño muestral n .

El volumen de suelo que ha de extraerse de cada celda de análisis se fijará una vez que se desarrolle el diseño de experimento mediante el cual se conocerá cuántos bloques de adobe se requieren.

3.1.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES CON SUELO ESTABILIZADO. PROCEDIMIENTO

Los fabricantes de bloques de adobe tradicionalmente realizan de manera empírica el proceso de estabilización de diversas formas. En la región andina, dentro de las formas más comunes para lograr esta estabilización se pueden señalar las siguientes: <<mezclar dos o más suelos de diferente granulometría hasta alcanzar la de mejor aptitud>> para los fines que persiguen, adicionar a un suelo previamente seleccionado por su idoneidad cierta cantidad de fibras vegetales que mejoran su resistencia y durabilidad, mediante procesos rudimentarios de compactación, especialmente para el tapial, etc.

Esta investigación procura establecer un proceso más refinado y científico de estabilización mediante la adición de cierto % de cemento portland que está por definirse, lo mismo estudiando la cantidad de agua que debe ser añadida durante el proceso de mezclado se llegó a determinar que este rango es sumamente estrecho centrándose X_2 en (37 – 39)% prácticamente situándola como una constante. El diseño de experimento que pasa a describirse procura precisar la influencia sobre la variable dependiente “*resistencia a compresión del bloque de adobe estabilizado*” de una variable



independiente (X_1) que luego será identificada, y para ello recurrirá al **Método para Análisis de Factores**.

A) Identificación de la Variable DEPENDIENTE

El problema de la investigación describe su objeto, referido en este caso al estudio que sobre la resistencia a compresión simple del bloque de adobe (variable dependiente), tienen las variables independientes que luego se identifican. Se trata en definitiva de una relación CAUSA – EFECTO.

$$\therefore Y = f'_{be}$$

B) Identificación de las variables INDEPENDIENTES

En realidad pueden ser varios los factores que pueden influir en la resistencia mecánica del adobe y en su durabilidad, baste señalar entre ellas: el *tipo de suelo* (granulometría, sus límites de consistencia y hasta su densidad), su *humedad* en el momento en que se está trabajando para fabricar el bloque, la introducción o no de *energía de compactación* durante este proceso, si se hablase de estabilización, el *tipo* (cemento portland, cal, fibras vegetales, asfalto) y *cantidad de estabilizante* que se emplee, etc.

Procurar analizar la influencia de cada uno de ellos en las variables objeto de estudio desborda el alcance de esta investigación, especialmente por los recursos que se requerirían. Sin embargo, la viabilidad de este estudio puede garantizarse si se considera que la cantidad de agua a añadir durante el proceso de fabricación se mantiene constante en un rango estrecho (37 – 39)% del peso del suelo seco ya que por debajo de este valor los adobes no se pueden moldear a mano debido a que el barro está muy seco y por arriba del mismo al momento del desmoldado pierde su geometría. Por tanto si mantenemos como variable X_1 la cantidad de cemento portland a utilizar en la estabilización (% C/S) de entre los múltiples factores que se señalaron podemos decir:

X_1 : Cantidad de cemento portland a utilizar en la estabilización (% C/S)



C) Establecimiento del rango de variación de la variable INDEPENDIENTE

 **X₁**: Cantidad de cemento portland a utilizar en la estabilización (% C/S)

La literatura analizada y algunos Reglamentos Normativos (AASHTO) ofrecen la siguiente orientación:

- Para Vías: **del 5 al 13 %.**
- Para Suelos Arenosos: **del 4 al 12 %**
- Para Suelos Arcillosos: **del 2 al 10 %**

Con los parámetros anteriores el autor propone asignar tres niveles a esta variable una cantidad menor al 6% de cemento no es recomendable, por que no registra variaciones en la resistencia ni tan poco mayor al 10% porque lo encarece frente a otras variantes (ladrillo) de los bloques de adobe. y lo hace fijando los siguientes valores:

$$X_{11} = 0.06 \text{ (6\%)}$$

$$X_{12} = 0.08 \text{ (8\%)}$$

$$X_{13} = 0.10 \text{ (10\%).}$$

 **X₂**: Cantidad de agua a añadir durante el proceso de fabricación (% de a/S)

Investigaciones realizadas en Cuba con el mismo fin permitió identificar que para alcanzar una adecuada trabajabilidad de la mezcla hasta llevarla a una consistencia fluido-viscosa, el porcentaje de agua respecto del peso de la mezcla debe situarse entre el 40% y el 45%. En nuestro medio (Loja-Ecuador) los obreros del barro adicionan agua en forma empírica con un profundo conocimiento adquirido con la experiencia de años en la fabricación de adobe, y en este estudio se ha determinado que la cantidad de agua que debe añadirse a la mezcla de suelos está directamente relacionada con el punto de trabajabilidad para lo cual se realizaron varios ensayos de contenido de humedad a diferentes muestras tomadas en fábrica en el momento en que se confeccionan los adobes con una humedad que permita moldear a mano los

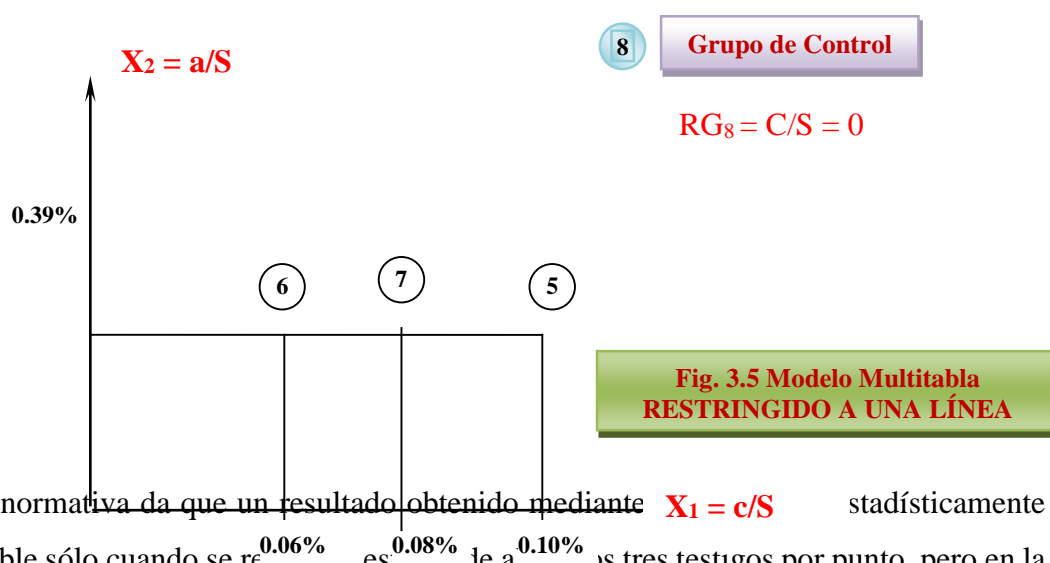


adobes y que en la práctica los obreros expertos lo mantienen como se pudo constatar el laboratorio en un contenido de (37 – 39)% de agua respecto del peso del suelo seco.

Teniendo en cuenta que en este caso se trata de un suelo que será estabilizado con cemento y que una vez mezclados ambos materiales, el cemento durante su proceso de hidratación consume parte del agua por tanto se debe añadir a la mezcla 1.2 litros de agua por cada kilogramo de cemento que se adiciona, finalmente el investigador considera en la presente investigación al contenido de humedad en un rango de (37 – 39)% en función de que menor cantidad de agua en la mezcla no permite que se integren todos los grumos de cemento en la masa de suelo y por el contrario mayor cantidad de agua provoca que los adobes no mantienen su geometría al momento de ser liberados del molde en que se los fabrica.

3.1.3 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA

Uno de los Métodos para Análisis de Factores que se conoce es el de los Modelos Multitablas. Pero en concordancia con la cantidad de variables independientes identificadas anteriormente (1) y de sus niveles (3 niveles para la variable X_1), el Modelo Multitabla más conveniente pese a quedar restringido. La **Figura 3.5** ilustra la ubicación de las variables independientes en los ejes cartesianos, y los niveles de cada uno de ellos.





manipuleo, etc. y disponer al momento de las pruebas un número confiable de adobes y poder realizar con holgura las roturas a los 8, 14 y 28 días, adicionalmente de los 40 se reservan seis especímenes de suelo estabilizado por punto para el ensayo de intemperismo. En el grupo de control RG₈ se toma una muestra más grande (80 adobes) porque de este suelo es que se realizan todas las pruebas de control. Por tanto la cantidad de especímenes que se fabricaron de cara a ser utilizados en laboratorio y pruebas de campo se indican en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2: Matriz de Experimento indicando la manipulación de las Variables independientes.

$X_1 = C/S$		
6%	40	RG1
8%	40	RG2
10%	40	RG3
		-
		-
		-
		-
0%	80	RG8

Téngase en cuenta que en dicha Tabla se ha fijado la edad del bloque en el momento de ensayarse, en 28 días a partir del momento en que se le fabrica pero es a nivel ilustrativo ya que en el momento de las pruebas reales se rompe a los 8, 14 y 28 días. Es cierto que pudo incluirse un cuarto grupo de bloques para ser ensayados a los 60, 90, 150 días, con la idea de estudiar el crecimiento de su resistencia con el tiempo, toda vez que se ha comprobado en trabajos de investigación que el suelo estabilizado incrementa su resistencia mecánica hasta esas edades, lo cual implica un factor de seguridad si se utiliza como resistencia para el diseño las alcanzadas por el suelo a los 28 días. Sin embargo, razones de verificación de los valores de resistencia en las pruebas efectuadas indican claramente que no hace falta ser considerada en la investigación, decisión que no llega a comprometer el valor de sus resultados puesto que en los modelos analíticos estructurales, es habitual que se considere como resistencia especificada de los materiales



artificiales de origen pétreo, precisamente la resistencia a los 28 días, como sucede, por ejemplo, con el hormigón. $R, G, 1, 2, 3, \dots X^{11}$.

Tabla 3.3: Cantidad de Testigos a ensayar por punto del hexágono.

EDAD DEL BLOQUE EN EL INSTANTE DEL ENSAYO: 28 días				
Punto	Grupo	Manipulación De las Variables	Cantidad de Testigos x Grupo	$f'_{be,28}$
1	RG1	X	40	¿?
2	RG2	X	40	¿?
3	RG3	X	40	¿?
4				¿?
5				¿?
6				¿?
7				¿?
8	RG8	—	80	¿?

Elaborado: por el autor de la investigación.

El Punto 8, ya fuera de la *figura 3.5* y al que corresponde el grupo RG8, se refiere precisamente al **Grupo de Control**, definiéndose este como un conjunto de 80 bloques de adobe fabricados sin adicionar cemento es decir, tomados directamente del o que al momento en que se mezclan los suelos.

3.1.4 BREVE DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO MECÁNICO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE LOS BLOQUES

La prueba de compresión simple o no confinada sirve para determinar la resistencia a la compresión de especímenes y se realiza aplicando una carga axial vertical sin que exista ninguna presión lateral. La prueba de compresión simple puede ser usada para determinar la cohesión del material en condición de no drenaje, considerándola como la mitad del máximo esfuerzo axial soportado por la muestra. Esta prueba queda limitada a los suelos arcillosos y cohesivos ya que para los suelos friccionantes y granulares, como los arenosos, es materialmente imposible obtener una muestra tallada¹².

¹¹ **R** : Asignación al azar o Aleatoria.

G : Grupos de sujetos (G1, grupo 1; G2, grupo 2, etc.). Cada grupo se forma de treinta bloques de adobe.

X : Se manipulan las *variables independientes* (presencia de estímulo)

— : No manipulan las *variables independientes* (ausencia de estímulo): Grupo de control o testigo.

¹² Tomado del Instructivo para ensayos de Mecánica de Suelos (4^{ta} edición) Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Quito Ecuador. Octubre 1985.



A) PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL BLOQUE.

- Se toma el bloque de adobe y se mide el área superior e inferior, su altura y finalmente se lo pesa.
- Se colocan placas metálicas de mayor sección a la del bloque que se está ensayando, tanto en la cara superior como en la inferior, con la finalidad de que la fuerza actúe de manera uniforme sobre toda la sección y se lo coloca sobre la base del sistema mediante el cual se aplicará la carga.
- Se acciona el equipo hasta poner en contacto el anillo con la cara superior del bloque de adobe (probeta) hasta que el anillo indique una ligera presión de carga, se enceran tanto el dial de la carga como el de la deformación. En la presente investigación no se disponía de anillo para medir la deformación, por lo que se asumió como máxima deformación cuando el espesor del adobe disminuía 8mm. Momento en el cual se medirá la carga.



Foto. 3.1 Ilustración del ensayo a compresión del bloque

- Se toman las lecturas del dial de carga para una deformación determinada en 7mm, y durante el ensayo se deben observar las fisuras, grietas y planos de falla que se presenten.



- Se suspende la prueba cuando el bloque (probeta) falle o alcance una deformación unitaria no mayor a 7mm. Se deben tomar las lecturas de carga y deformación producidas en el instante de falla.
- Se remueve el bloque (probeta) de la base del sistema de carga y se dibuja la falla producida. Si existe un plano de falla definido sobre el bloque de adobe se mide el ángulo de inclinación de dicho plano con respecto a la horizontal.

B) DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BLOQUE.

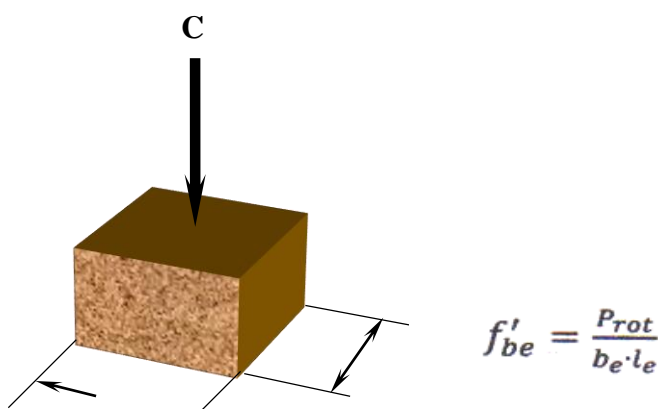
Si se deseara obtener la curva de comportamiento (σ vs. ϵ) del suelo ensayado, se pudieran definir escalones de carga diferentes ($P_0 + \Delta P_i$) de manera que para cada uno se tome la lectura del corrimiento (acortamiento) que va experimentando el testigo (δ_i).

Siendo así, para el escalón de carga i , se pueda obtener el par:

$$(\sigma_i, \epsilon_i) \equiv (P_i/A_{be}, \delta_i / h_{be})$$

Y representados todos los pares ordenados en un sistema cartesiano (σ vs. ϵ), se obtendría el comportamiento del material.

A los efectos de esta investigación sólo se evaluará la carga de colapso que se registre durante el ensayo, y si se define esta carga como P_{rot} , entonces la resistencia del bloque de adobe ensayado vendrá dada por:





l_e

b_e

C) PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BLOQUE.

En la *tabla 3.4* se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 8, 14, 28 días que corresponden al grupo **RG8** o grupo de control (*ver anexo 3.14*) el mismo que presenta: 1.- un contenido de materia orgánica menor al 1% ya que el material para la presente investigación se lo trabajo prestando especial cuidado en no contaminarlo es de indicar que de la mina sale prácticamente libre de material orgánico, 2.- porcentaje de cemento 0%.

En los Anexos 3.1, 3.2, 3.3 se muestran fechas de toma de muestra, fecha de rotura, espesor de la muestra (cm), largo (cm), ancho (cm), área (cm) de los de cada uno de los adobes así como también la resistencia alcanzada por cada uno.

Tabla 3.4: Resultados de Ensayo de Compresión Simple para **RG8**.

Número	Grupo	Resistencia a la	Resistencia a la	Resistencia a la
		Compresión 8 días	Compresión 14 días	Compresión 28 días
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
1	RG8	12.01	22.54	25.24
2	RG8	12.19	21.65	24.78
3	RG8	11.77	21.20	24.50
4	RG8	12.13	22.28	24.00
5	RG8		21.94	24.12
6	RG8		23.23	24.71
7	RG8		21.99	24.35
8	RG8		21.45	
	Promedio	12.02	22.04	24.53

Fuente: Autor de la investigación

En la *tabla 3.5* se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 8, 14, 28 días que corresponden al grupo **RG1** o grupo con el 6% de contenido de cemento (*ver anexo 3.15*) mismo que presenta: 1.- un contenido de materia orgánica menor al 1% ya que el material para la presente investigación se lo



trabajo prestando especial cuidado en no contaminarlo es de indicar que de la mina sale prácticamente libre de material orgánico.

En los Anexos 3.4, 3.5, 3.6 se muestran fechas de toma de muestra, fecha de rotura, espesor de la muestra (cm), largo (cm), ancho (cm), área (cm) de los de cada uno de los adobes así como también la resistencia alcanzada por cada uno.

Tabla 3.5: Resultados de Ensayo de Compresión Simple para **RG1**.

Número	Grupo	Resistencia a la	Resistencia a la	Resistencia a la
		Compresión 8 días	Compresión 14 días	Compresión 28 días
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
1	RG1	8.10	11.88	11.47
2	RG1	7.32	10.74	14.67
3	RG1	7.39	12.24	14.28
4	RG1	6.05	11.90	14.22
5	RG1	8.19	10.85	14.65
6	RG1	5.76	12.28	14.51
7	RG1	7.88	11.92	14.40
8	RG1	7.23		14.52
9	RG1	5.54		
10	RG1	8.55		
	Promedio	7.20	11.69	14.47

Fuente: Autor de la investigación.

En la **tabla 3.6** se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 8, 14, 28 días que corresponden al grupo **RG2** o grupo con el 8% de contenido de cemento (*ver anexo 3.16*) mismo que presenta: 1.- un contenido de materia orgánica menor al 1% ya que el material para la presente investigación se lo trabajo prestando especial cuidado en no contaminarlo es de indicar que de la mina sale prácticamente libre de material orgánico.

En los Anexos 3.7, 3.8, 3.9 se muestran fechas de toma de muestra, fecha de rotura, espesor de la muestra (cm), largo (cm), ancho (cm), área (cm) de los de cada uno de los adobes así como también la resistencia alcanzada por cada uno.

Tabla 3.6: Resultados de Ensayo de Compresión Simple para **RG2**.

Número	Grupo	Resistencia a la	Resistencia a la	Resistencia a la
		Compresión 8 días	Compresión 14 días	Compresión 28 días
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
1	RG2	14.35	23.28	28.95



2	RG2	12.61	21.48	28.89
3	RG2	15.62	23.46	29.00
4	RG2	13.91	21.94	29.46
5	RG2	13.39	21.96	28.89
6	RG2	13.86	21.70	28.66
7	RG2	15.28	23.05	28.58
8	RG2	14.55		29.17
	Promedio	14.19	22.41	28.95

Fuente: Autor de la investigación.

En la *tabla 3.7* se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 8, 14, 28 días que corresponden al grupo **RG3** o grupo con el 10% de contenido de cemento (*ver anexo 3.17*) mismo que presenta: 1.- un contenido de materia orgánica menor al 1% ya que el material para la presente investigación se lo trabajo prestando especial cuidado en no contaminarlo es de indicar que de la mina sale prácticamente libre de material orgánico.

En los Anexos 3.10, 3.11, 3.12 se muestran fechas de toma de muestra, fecha de rotura, espesor de la muestra (cm), largo (cm), ancho (cm), área (cm) de los de cada uno de los adobes así como también la resistencia alcanzada por cada uno.

Tabla 3.7: Resultados de Ensayo de Compresión Simple para **RG3**.

Número	Grupo	Resistencia a la	Resistencia a la	Resistencia a la
		Compresión 8 días	Compresión 14 días	Compresión 28 días
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
1	RG3	16.79	26.39	32.89
2	RG3	19.36	27.30	33.04
3	RG3	16.51	26.00	32.83
4	RG3	14.96	26.17	33.12
5	RG3	15.47	27.08	32.79
6	RG3	17.50	26.22	33.02
7	RG3	19.21	26.50	32.61
8	RG3	13.40	27.20	33.10
9	RG3		26.20	
	Promedio	16.61	26.56	32.89

Fuente: Autor de la investigación

C) FIJAR LOS VALORES ÓPTIMOS DE X1 (% cemento) y AGUA PARA LA FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES DE ADOBE.



En la *tabla 3.8* se muestra en resumen los resultados promedio de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 8, 14, 28 días que corresponden a los grupos **RG1, RG2, RG3, RG8**.

Tabla 3.8: Resumen resultados de Ensayo de Compresión Simple.

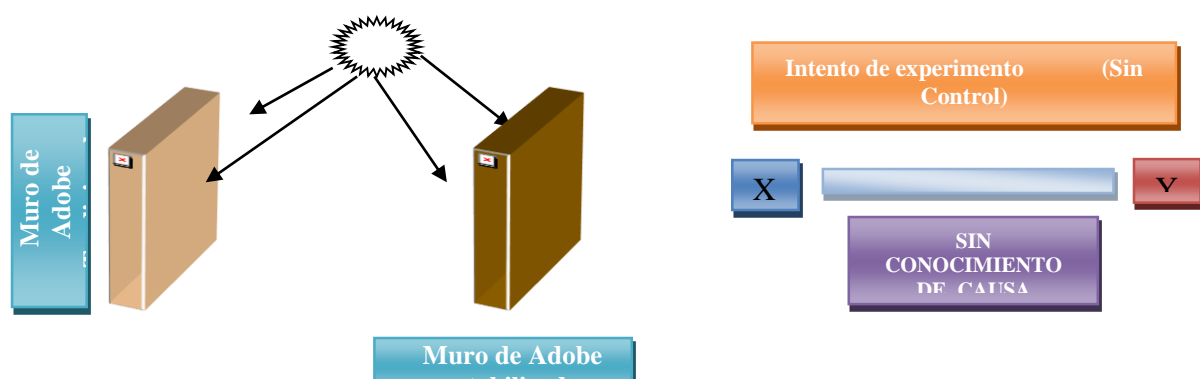
Número	Grupo	Cemento	Resistencia a la	Resistencia a la	Resistencia a la
			Compresión 8 días	Compresión 14 días	Compresión 28 días
			(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
1	RG1	6%	7.20	11.69	14.47
2	RG2	8%	14.19	22.41	28.95
3	RG3	10%	16.61	26.56	32.89
4	RG8	0%	12.02	22.04	24.53

Fuente: Autor de la investigación.

En el *Anexo 3.13* así como en los *anexos (3.14 - 3.15 - 3.16 - 3.17)* se muestra el resumen de las curvas de compresión simple respecto de la curva que corresponde al grupo **RG8** a partir de lo cual es propio intuir ya que la estabilización del suelo se puede lograr con mejores resultados a partir del **8% en contenido de cemento** y **el (37 – 39)% de humedad**, rango de humedad que se adoptó de la práctica diaria en la **fábrica de adobes**.

3.1.5 ESTRATEGIA PARA LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA DURABILIDAD (INTEMPERISMO) DE LOS BLOQUES DE ADOBE

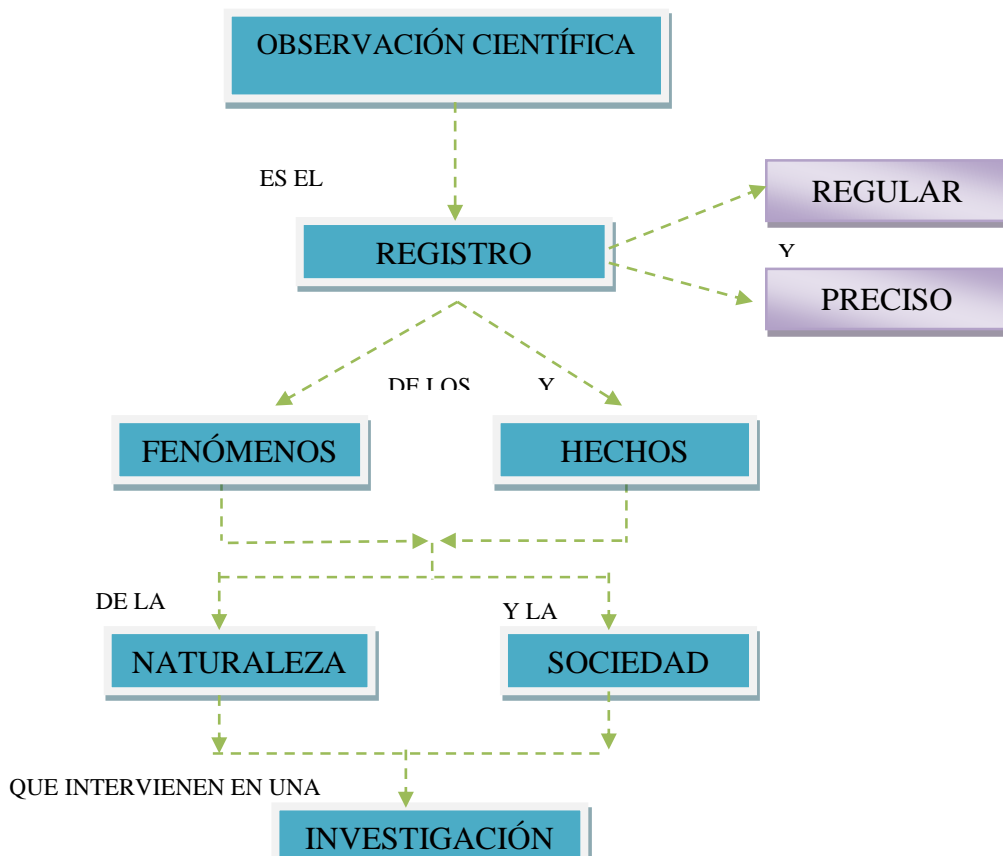
La evaluación cualitativa de la durabilidad se realizará mediante la técnica de la observación científica. Es la técnica por excelencia empleada en la recolección de datos durante la investigación de fenómenos tanto naturales como de las ciencias sociales. Consiste en el registro regular y preciso de los fenómenos de la naturaleza que intervienen en una investigación cuya finalidad radica en el análisis de la(s) variable(s) en estudio.





En este estudio, además del pesquisaje de la resistencia mecánica que se describiera anteriormente, se incluye un análisis cualitativo del bloque de adobe respecto de su degradación por los agentes del intemperismo (lluvia, sol, viento, cambios de temperatura, etc.).

La **Figura 3.8** ilustra el procedimiento de investigación cualitativa (no experimental) a partir de la observación científica, no contemplativa, del fenómeno que se estudie, en este caso la degradación de los bloques.



Es de indicar que con la finalidad de representar en el experimento de una forma lo más expuesto posible frente a los elementos de la naturaleza y también de conocer el material e

Fig. 3.8 Pasos secuenciales de una investigación mediante la observación científica de un fenómeno.

es de mortero, así

como también ver como lo afectan los factores de intemperismo se preparó un muro de adobe sin estabilizar con un área aproximada de 1m^2 ver *foto 3.2*, de lo cual se pudo observar que a medida que se incrementa la altura del muro el viento es el principal factor de peligro, derribando el muro fácilmente y luego el material (adobe suelo natural) en el suelo es degradado por las primeras lluvias ya que absorbe grandes cantidades de agua ver *foto 3.3* convirtiéndolo en barro.



Foto 3.2: Fecha de inicio 15 - 08 - 2009



Foto 3.3: Fecha de término 20 - 12 - 2009

En base a lo aprendido se propone en el segundo intento por medir las consecuencias del intemperismo de una forma más controlada lo siguiente: construir cuatro muros (*ver fotografía 3.4*) de 0.45m^2 de superficie total cada uno, y muy próximos entre sí para asegurar que queden rodeados del mismo ambiente. El primero se construirá con bloques tradicionales de adobe, el segundo con bloques de adobe estabilizado al 6%, el tercero con bloques de adobe estabilizado al 8% y el cuarto con bloques de adobe estabilizado al 10%. El fin es observar la velocidad e intensidad de la degradación. Este ensayo será más efectivo en la medida en que el tiempo de exposición sea mayor, sin embargo, los límites de duración de esta investigación impedirán evaluar la mejor de las observaciones. De cualquier manera el investigador se compromete en completar el Anexo 3.9 pasada, incluso, la defensa, con el fin de dejar asentado el resultado que esta prueba arroje.



Foto 3.4: Fecha de inicio 10 - 01 – 2010



Foto 3.5: Fecha de término 31 – 03 - 2010

Con la finalidad mantener coherencia con el procedimiento de observación científica y de llevar un registro regular y preciso de los fenómenos naturales como: días de sol, lluvia y cualquier otro fenómeno que se presente a lo largo del tiempo se toma como referencia un almanaque en el cual fácil y ordenadamente se detalla lo más relevante de cada día. En la **tabla 3.9** se muestra lo acontecido a partir del día 23 de diciembre de 2009.

Tabla 3.9 Registro diario de los eventos climáticos para intemperismo.

Número	Fecha	Evento Climático	Adobe natural	Adobe 6% C.	Adobe 8% C.	Adobe 10% C.
1	10-01-2010	Soleado	seco	seco	seco	Seco
2	11-01-2010	Garua	seco	seco	seco	Seco
3	12-01-2010	Nublado	seco	seco	seco	Seco
4	13-01-2010	Soleado	seco	seco	seco	Seco
5	14-01-2010	Soleado	seco	seco	seco	Seco
6	15-01-2010	Soleado	seco	seco	seco	Seco
7	16-01-2010	Garua	seco	seco	seco	Seco
8	17-01-2010	despejado	seco	Seco	seco	Seco
9	18-01-2010	Soleado	seco	Seco	seco	Seco
10	19-01-2010	Soleado	seco	Seco	seco	Seco
11	20-01-2010	Lluvia	lavado	Lavado	lavado	Lavado
12	21-01-2010	despejado	húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
13	22-01-2010	despejado	húmedo	húmedo	Casi seco	Casi seco
14	23-01-2010	despejado	húmedo	húmedo	Casi seco	Casi seco
15	24-01-2010	Nublado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
16	25-01-2010	Lluvia suave	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco



17	26-01-2010	despejado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
18	27-01-2010	Lluvia corta	Roto 1	húmedo	húmedo	Húmedo
19	28-01-2010	despejado	Húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
20	29-01-2010	despejado	Húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
21	30-01-2010	Soleado	Húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
22	31-01-2010	Soleado	Húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
23	01-02-2010	Soleado	Húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
24	02-02-2010	Soleado	Casi seco	Húmedo	Casi seco	Casi seco
25	03-02-2010	Nublado	Casi seco	Húmedo	Casi seco	Casi seco
30	08-02-2010	despejado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
31	09-02-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
32	10-02-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
33	11-02-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
34	12-02-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
35	13-02-2010	Nublado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
36	14-02-2010	despejado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
37	15-02-2010	Lluvia larga	Roto 1	Roto 1	mojado	Mojado
38	16-02-2010	despejado	mojado	mojado	mojado	Mojado
39	17-02-2010	Soleado	mojado	mojado	mojado	Mojado
40	18-02-2010	Soleado	húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
41	19-02-2010	Soleado	húmedo	húmedo	Casi seco	Casi seco
42	20-02-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
43	21-02-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
44	22-02-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
45	23-02-2010	despejado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
46	24-02-2010	despejado	seco	húmedo	seco	Seco
47	25-02-2010	Nublado	seco	húmedo	seco	Seco
48	26-02-2010	despejado	seco	húmedo	seco	Seco
49	27-02-2010	Soleado	seco	húmedo	seco	Seco
50	28-02-2010	Soleado	seco	húmedo	seco	Seco
51	01-03-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
52	02-03-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco



53	03-03-2010	Soleado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
54	04-03-2010	despejado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
55	05-03-2010	despejado	Seco	Seco	Seco	Seco
56	06-03-2010	despejado	Seco	Seco	Seco	Seco
57	07-03-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
58	08-03-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
59	09-03-2010	Garua	Roto 2	Roto 1	húmedo	Húmedo
60	10-03-2010	Nublado	Casi seco	Casi seco	Casi seco	Casi seco
61	11-03-2010	Soleado	Casi seco	Casi seco	Casi seco	Casi seco
62	12-03-2010	Soleado	Seco	Casi seco	Seco	Seco
63	13-03-2010	Lluvia	húmedo	mojado	húmedo	Húmedo
64	14-03-2010	Soleado	húmedo	mojado	húmedo	Húmedo
65	15-03-2010	nublado	húmedo	húmedo	húmedo	Húmedo
66	16-03-2010	nublado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
67	17-03-2010	nublado	Casi seco	húmedo	Casi seco	Casi seco
68	18-03-2010	soleado	Casi seco	húmedo	seco	Seco
69	19-03-2010	soleado	Casi seco	húmedo	seco	Seco
70	20-03-2010	soleado	Casi seco	húmedo	seco	Seco
71	21-03-2010	despejado	seco	Casi seco	seco	Seco
72	22-03-2010	despejado	seco	Casi seco	seco	Seco
73	23-03-2010	despejado	seco	Casi seco	seco	Seco
78	28-03-2010	despejado	seco	seco	seco	Seco
79	29-03-2010	despejado	seco	seco	seco	Seco
80	30-03-2010	soleado	seco	seco	seco	Seco
81	31-03-2010	soleado	seco	seco	seco	Seco
82	01-04-2010	soleado	seco	seco	seco	Seco
83	13-04-2010	Lluvia fuerte	Roto 3	Roto 1,5	mojado	Mojado
85	15-04-2010	Lluvia	mojado	mojado	mojado	Mojado
86	16-04-2010	soleado	Casi seco	mojado	seco	Casi seco
RESULTADO Observación.		INVIERNO. SECO.	Adobes No aptos, deteriorados.	Adobes No aptos.	ADOBES APTOS	ADOBES CAROS

Fuente: Autor de la investigación.

RG8 ADOBE NATURAL



ADOBE ESTABILIZADO 6%



Foto 3.6: Fin de prueba 15-04-2010

Foto 3.7: Fin de prueba 15-04-2010

ADOBE ESTABILIZADO 8%

ADOBE ESTABILIZADO 10%



Foto 3.8: Fin de prueba 15-04-2010

Foto 3.9: Fin de prueba 15-04-2010



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
 NATURALES NO RENOVABLES
 DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
 José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO IV

METODOLOGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE



4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando viaja por los pueblos de la sierra andina del Ecuador especialmente en la época de crudo invierno, no es de admirarse ver a los niños jugando con barro *foto 4.1*, así aprenden de forma natural a trabajarlo y darle la forma que ellos desean.



Foto 4.1: Niños juegan con barro



Foto 4.2: Constructores con adobe.

Cuando crecen ver *foto 4.2* algunos de ellos se dedican a la fábrica del adobe que ancestralmente para algunas comunidades viene siendo el principal elemento de construcción de sus viviendas.

Lo interesante es que a todo lo largo del camino se puede advertir una patología común a todas las viviendas *foto4.3* y *foto4.4* << el mal estado en que se encuentran los muros de las casa >> por ellos construidas.



Foto 4.3: Vivienda con pared deteriorada.



Foto 4.4: Fachada deteriorada.



Uno de los aspectos que desde la década de los ochenta compite con la forma tradicional de construcción de la vivienda vernácula del sector es el generado por el dinero fruto de la migración, llama la atención el que junto de las casitas de barro actualmente se construyen algunas de hormigón armado *foto 4.5* contrastando con el entorno y con la forma de vida de los lugareños que ancestralmente se dedican a la agricultura y al pastoreo de ganado vacuno. Este sistema de construcción en hormigón armado representa un costo elevado para estas familias como se ha demostrado desde todo punto de vista con el transcurrir del tiempo dando como resultado más pobreza, por tanto en la práctica social, económica, cultural no forman parte de la solución por el contrario obliga a los migrantes a permanecer muchos años fuera de su país de origen, lejos de sus familiares ocasionando incremento de la tasa de desintegración y desadaptación familiar especialmente de los hijos que quedan al cuidado de abuelos o parientes, estas viviendas por lo general se construyen bajo administración de un familiar cercano del migrante, con presupuestos elevados debido a que en el sector rural no se dispone de los materiales ni de mano de obra calificada obligando a invertir ingentes recursos en transporte y contratación de mano de obra de fuera del lugar al que se construye la vivienda.



Foto 4.5: Vivienda de hormigón que rompe lo tradicional.

Estas viviendas se terminan de construir por lo general no en meses sino en años, estas viviendas rompen con el paisaje y la arquitectura tradicional del sector rural de ser el caso cuando ya son habitadas gran parte de la misma no se destina para vivienda sino para bodega de productos agrícolas o cuartos para criadero de aves o roedores.

Lo que hace pensar en fortalecer la forma tradicional de construcción a través de tecnologías que mantengan la manera ecológica de hacer sus viviendas y que sean desarrolladas desde lo local para que los habitantes de la zona de tal forma que no abandonen su forma de vivir pensando que fácilmente obtendrán de mejores condiciones de vida en la ciudad. La pretensión se justifica pues a pesar de que en la actualidad son muchos los “materiales clásicos” de construcción, la tierra sigue siendo competitiva frente a otras variantes ya que demanda poca inversión, es fácil de trabajar en el medio rural, se encuentra en el lugar y posee probadas ventajas ecológicas. Por lo tanto se trata de analizar un método que desde lo local de respuesta *foto 4.6* y *foto 4.7* mejorando cualitativa y cuantitativamente el suelo con el que se fabrica el adobe así como la de regular la arquitectura (techos de aleros amplios, canales recolectores de aguas lluvias) de las viviendas que se construyan con dicho material con la finalidad de protegerlo específicamente del impacto de los factores climáticos.



Foto 4.6: Vista frontal vivienda de adobe.



Foto 4.7 Vista lateral vivienda de adobe.

En el tramo de vía comprendido entre el cantón Loja y La parroquia San José de San Lucas existen dos carreteros, la vía antigua y vía Panamericana, tramo en el cual funcionan al menos cuatro fábricas de adobe desde hace más de dos generaciones como es el caso de la fábrica de Don Francisco Paucar.



Foto4. 8: Fábrica Sr. Oswaldo Paucar, sector Vinoyacu



Con la finalidad de llevar adelante la presente investigación se sostuvieron conversaciones con los dueños de algunas de las fabricas con el objetivo de involucrarlos en el proceso de coadyuvar en la real posibilidad de mejorar el adobe que ancestralmente ellos producen, para lo cual debíamos lograr de ellos el que nos dejen estar como parte del equipo de trabajo en las instalaciones de al menos una de las fábricas del sector, meta que se logró establecer en el lugar de trabajo con el señor Francisco Oswaldo Paucar *foto 8* y su familia, cuya fabrica se encuentra en el barrio Vinoyacu junto a la vía que pasa por Santiago a 1500 m. antes de llegar al puente de San Lucas, ellos se insertan a la vivencia del investigador al aceptar desentrañar el proceso del adobe paso a paso tal y cual lo realizan cotidianamente y también permiten que se desarrollen todas las actividades planeadas por el investigador en gabinete con anterioridad para llevar a término lo exigido para el desarrollo de la presente investigación.

Todo comienza cuando camino de la mina *foto 4.9* Francisco comenta que sus padres obtenían el material del lugar al que nos dirigimos, va acompañado con sus pequeños hijos que resultan ser muy prácticos como ayudantes.

En el trayecto se le pregunta si existen diferencias en la forma de trabajar el adobe entre sus padres, Francisco relata que sus padres fabricaban el adobe con barro altamente arcilloso ya que ellos estaban seguros que de arcilla sola el adobe resultante presenta ventajas como ser duro cuando se mantiene seco y de que mientras más grande mejor, este adobe tenía la desventaja que era sumamente grande por tanto era de un peso mayor a los 16 Kg. Por lo que era necesario para producirlo: mayor esfuerzo por parte de los obreros, alta retracción al secado, actualmente; continua su relato preparamos el barro a partir de mezclar de dos suelos, la cantidad en que interviene de cada uno de ellos expresada en porcentaje está dada por los rangos (30 – 40)% para el suelo arcilloso y del (70 – 60)% para el suelo arenoso con lo que se obtiene mejores adobes, también nos manifiesta su deseo de colaborar ampliamente en todo lo que se investigue ya que de obtenerse resultados positivos los pondrá en práctica.



FOTO
4.9



Foto 4.9: Sr. Oswaldo Paucar e hijos, camino de la mina arena.

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DIRIGIDA A LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE: METODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.

Metodología.- El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define la metodología como: *“la ciencia del método...conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica...”*, y al Método como un *“procedimiento para alcanzar un determinado fin...procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad”*. Siendo así la metodología señala los caminos a seguir en una investigación científica con la finalidad de lograr los objetivos propuestos¹³.

Para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas mientras se identificara el “problema” a resolver, y procurando cumplir con los objetivos definidos, se adoptó un **diseño de investigación de tipo experimental** que permitió probar las hipótesis que se formularon.

La investigación marcó dos momentos de singular importancia el primero descrito en el capítulo II al verificar la idoneidad y caracterización del suelo y el segundo momento

¹³ Pazmiño, C., I. *“Investigación Científica. Tiempo de Investigar”*. Ed. 2da. HOLOS. Grupo Leer. ISBN 9978-42-390-7. Quito. Ecuador. 2006 (Pág. 10)

se detalla en el Capítulo III al decidir el método y las técnicas de estudio que se emplearon:

• **PRIMER MOMENTO.**- Se realiza la Investigación del Suelo de la Fabrica Seleccionada tanto en el acopio (materiales y adobes) como en las minas desde donde se proveen normalmente de material y se divide en:

a. Realizar la **VALORACIÓN DE LA IDONEIDAD** el suelo para Adobe con la ayuda de sencillos pero eficaces **ENSAYOS DE CAMPO** que se los realiza a partir de tomar no menos de 10 Kg de cada material (arenoso y arcilloso respectivamente) que llega a la fabrica *ver foto 4.10*.



Foto 4.10: Acopio de arena, fabrica Sr. Oswaldo Paucar.

Luego tomamos una cantidad similar 10 kg de material mezclado del oque *ver foto 4.11*. con la finalidad de analizar de una forma controlada el material resultante.



Foto 4.11 y foto4. 12: Hueco practicado en el piso junto a la fábrica utilizado para realizar el mezclado de dos Suelos.



Una vez tomadas las muestras tanto del *suelo 1* como del *suelo 2* así como también la muestra del suelo producto de la mezcla en el oque se les aplica a cada uno un **Método Experimental** de tipo *Preexperimental* de ensayos y pruebas apoyados en elementos sensoriales: tacto, vista, gusto y olfato, y en algunos implementos elementales: (cuchillo, botella de vidrio, etc.). *Este método sirvió como estudio exploratorio del suelo*, y sus resultados se convirtieron en un primer acercamiento a la caracterización del suelo que, a los fines de esta investigación derivaron luego en estudios más profundos. En el *Capítulo II* se describe el procedimiento de cada una de las técnicas aplicadas en la presente investigación y de todo ello se elaboró el *Anexo 2.13* de Resultados de Valoración de la *Idoneidad* del Suelo para Adobe.

b. Con los datos obtenidos y manteniendo la finalidad inicial de esta investigación se profundiza los estudios al suelo que resultó Idóneo para adobe Fig. 4.1, mediante LA CARACTERIZACIÓN del mismo aplicando Ensayos de Laboratorio.

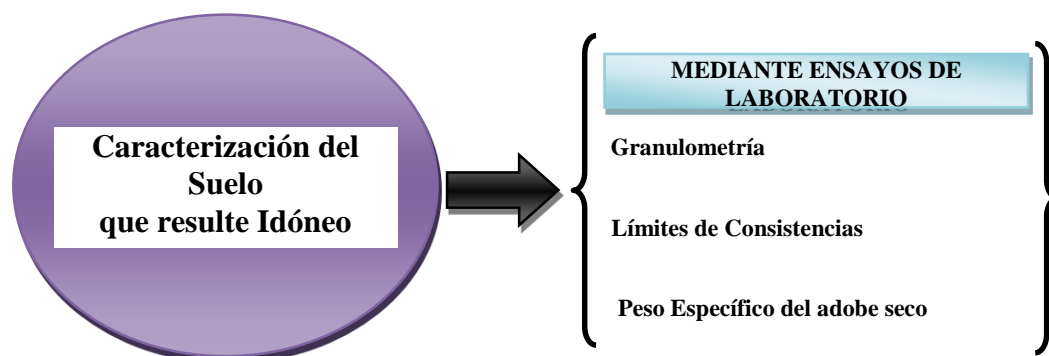


Fig. 4.1 Ensayos de Laboratorio realizados al suelo para su caracterización.

El tamaño de las muestra para los ensayos de caracterización estará de acuerdo con lo especificado en la *tabla 4.1*.

Tabla 4.1. Cantidad de muestra

TAMAÑO DE LA MUESTRAS	Peso (gr)
Granulometría para suelo arcilloso	200 – 500
Granulometría para suelo granular	1000 – 2000
Límites de Consistencia	500 – 600
Peso Específico del Adobe Seco	5500 – 5600

Elaboración: tomado de Suelos Aptos para la estabilización, y Autor de la investigación.



• **SEGUNDO MOMENTO.**- va dirigido al desarrollar el tema de la **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CEMENTO PORTLAN** y para cumplir con este requerimiento se parte de la realidad de que en la fabrica se confeccionan adobes de suelo natural de un peso promedio de 5400 gr. cada uno, luego para ser consecuentes con el **Modelo Científico de Multitablas** se fabrica adobes en número tal de acuerdo con lo detallado en la *tabla 4.2*.

Tabla 4.2: Matriz de Experimento indicando la manipulación de las Variables independientes y el número de especímenes por cada nivel de variación en la cantidad de cemento.

$X_1 = C/S$		
6%	40	RG1
8%	40	RG2
10%	40	RG3
		-
		-
		-
		-
0% - ?	80	RG8

Elaborado: Autor de la investigación.

Es de indicar que para realizar los ensayos de intemperismo a un muro de 1m^2 construido con adobe no estabilizado se destinaron 32 adobes y se aplicó el **Método Experimental Puro o Verdadero** de observación, finalmente los 8 adobes restantes del RG8 se utilizaron para correr la misma prueba de intemperismo al mismo tiempo respecto de los RG1, RG2 y RG3. Con lo que se completan 40 piezas más dando un total de 200 adobes, pudiéndose calcular la cantidad de Muestra acumulada mediante la siguiente expresión:

$$(200 \text{ adobes} \times 5.40 \text{ kg. /Adobe}) = 1080 \text{ kg.}$$

Conociendo la cantidad de material necesario para desarrollar todas las pruebas, se lo obtiene aplicando el procedimiento conocido como: **Método Probabilístico de Áreas** o método de áreas homogéneas, esto con la finalidad de que la muestra así tomada sea

representativa del material existente en el acopio o lugar de la mina como el caso presente.

- 1) Selección de la muestra a investigar a través de un **“Muestreo Probabilístico de Áreas”**, descrito detalladamente en el **Capítulo III. foto 4.13**



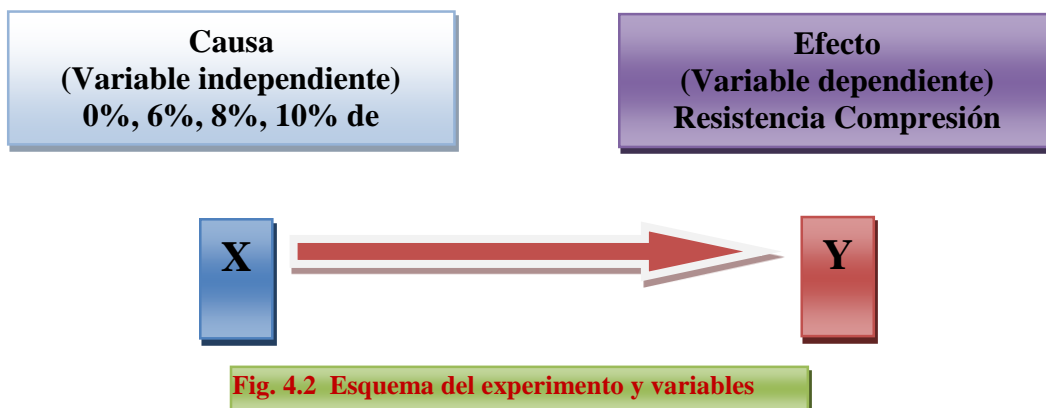
Foto 4.13: Método de áreas homogéneas trazado en el lugar de la mina.

- 2) La cantidad de material no será menor a 1080 Kg. **“Muestreo Probabilístico de Áreas”**



Foto 4.14 y foto 4.15: Recolectión de la muestra: para ensayos de campo, laboratorio y 200 adobes para compresión simple e intemperismo.

Aplicación del **Método de “Experimentos Puros”** para investigar cómo influye en la resistencia a compresión simple en bloques de Adobe, los experimentos puros son **Diseños Experimentales** que pueden abordarse desde un punto de vista general o particular. Desde lo *general* se refiere a **“elegir o realizar una acción”** y después observar las consecuencias (Babbie 2001). La esencia de esta concepción de experimento es que presupone la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados. En la **Figura 4.2** se muestra un esquema de la relación causa-efecto que define, a su vez, la relación variable independiente-variable dependiente.



- 3) Mezclado o batido del barro se ilustra en las *fotos 4.16 y 4.17* de acuerdo con lo establecido en la matriz de Experimento en la que se indica la manipulación de la variable independiente (cemento) ver *tabla 4.3*



Foto 4.16: Momento en el que se adiciona el cemento al barro
Foto 4.17: Se muestran balanza y balde, se adiciona 1 litro de agua por kg. de cemento para necesario mantener la trabajabilidad del barro.

- 4) Al tener el barro en la consistencia adecuada para moldear los adobes los obreros dan inicio a la confección de hasta 60 unidades por hora, teniendo por verdadera fábrica al molde especialmente hecho para este uso *foto 4.18*. De esta forma cumplen fácilmente con los 500 adobes que se estiman en una jornada normal de ocho horas ver *foto 4.19*.



Foto 4.18: Equipo o fábrica artesanal para moldear adobe.

Foto 4.19: Moldeado manual de un adobe mediante proceso artesanal.

5) El moldeado de un adobe no termina cuando el obrero da el acabado de la cara superior utilizando una regleta de madera *foto 4.20* sino cuando diestramente lo desmolda para comprobar que si el adobe mantiene su geometría en todo momento hasta ser colocado en el tendal ver *foto 4.21*, entonces la manera tradicional empírica de trabajar el adobe ha dado nuevamente en el resultado esperado. Es el equivalente determinado en nuestra investigación mediante ensayo de contenido de humedad correcta manteniéndose dentro del rango determinado en laboratorio (37 – 39) %.



Foto 4.20: Enrazado y nivelado final del adobe

Foto 4.21: Desmoldeado del adobe.

6) Cuando la mezcla y la cantidad de agua es la óptima los adobes van al tendal donde permanecen por un tiempo de secado al ambiente no menor a ocho días, ver *foto 4.22* y *foto 4.23*.



Foto 4.22: Adobe perfectamente dosificado.

Foto 4.23: Tendal: lugar de secado al ambiente donde se marca cada uno de los especímenes de acuerdo con su contenido de cemento.

7) Luego de transcurrido el secado igroscópico del adobe que tiene lugar en ocho días los adobes son marcados de acuerdo a su contenido de cemento, luego se transportan hasta el laboratorio *foto 4.24* y bodega *foto 4.25*, lugares donde se realizarán las pruebas de resistencia e intemperismo previamente programadas y bien definidas por el investigador mismas que se correrán bajo condiciones controladas.



Foto 4.24: Adobe en laboratorio momentos antes de ser sometidos a compresión simple.

Foto 4.25: Stock de especímenes de acuerdo a su contenido de cemento a ser probados a Compresión simple e Intemperismo.

8) De las pruebas de resistencia a la compresión simple ver *foto 4.26* y *foto 4.27* se obtienen valores suficientes que nos permiten trazar curvas de resistencia únicas para cada grupo de adobes dependiendo de su contenido de cemento y en les edades de 8, 14, 28 días.



Foto 4.26: Se calibra máquina de compresión, se mide y pesa cada uno de los adobes.



Foto 4.27: se da carga a cada uno de los adobes hasta alcanzar una deformación igual a 7 mm.

9) A continuación se presenta el ensayo de intemperismo para un muro de 1m^2 de área trabajado con adobe sin estabilizar el mismo que sirvió para definir aspectos importantes como estabilidad del mismo, nivel de vulnerabilidad frente a los factores climáticos como lluvia, viento, etc. Ver *foto 4.28* y *foto 4.29* Que nos prepararon para tomar medidas de precaución al momento de repetir la prueba con los adobes fabricados con (6, 8, 10) % de cemento.



Foto 4.28: Muro de adobe que presenta inestabilidad frente al viento.



Foto 4.29: Los adobes en contacto con el agua del piso y la lluvia son destruidos rápidamente.

10) La prueba de intemperismo tal como se presenta en la *foto 4.30* y *foto 4.31* muestran un acomodo que geométricamente es estable frente al viento permitiendo desarrollar el ensayo con normalidad en el tiempo de 89 días se han requerido hasta que factores como la lluvia actúen de forma cuantificable, asiendo evidente características únicas de cada grupo de estudio llegándose a determinar que el adobe con 10% de contenido de cemento presenta las características más satisfactorias frente a todo lo planteado convirtiendo al grupo **RG2** en la respuesta de la presente investigación.

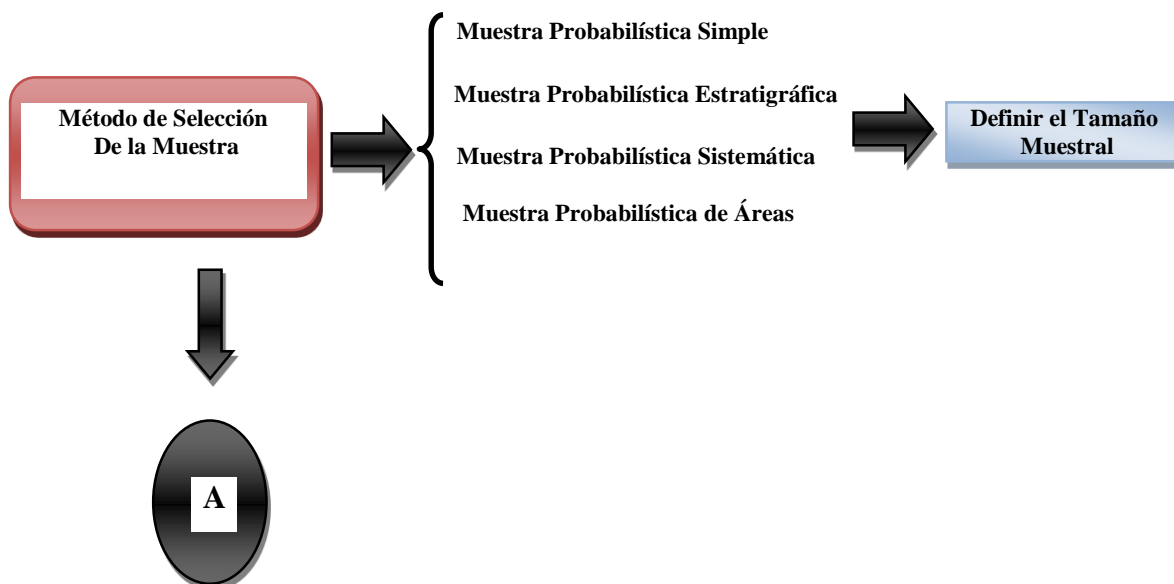


Foto 4.30: Fecha de inicio intemperismo 23 - 12 - 2009



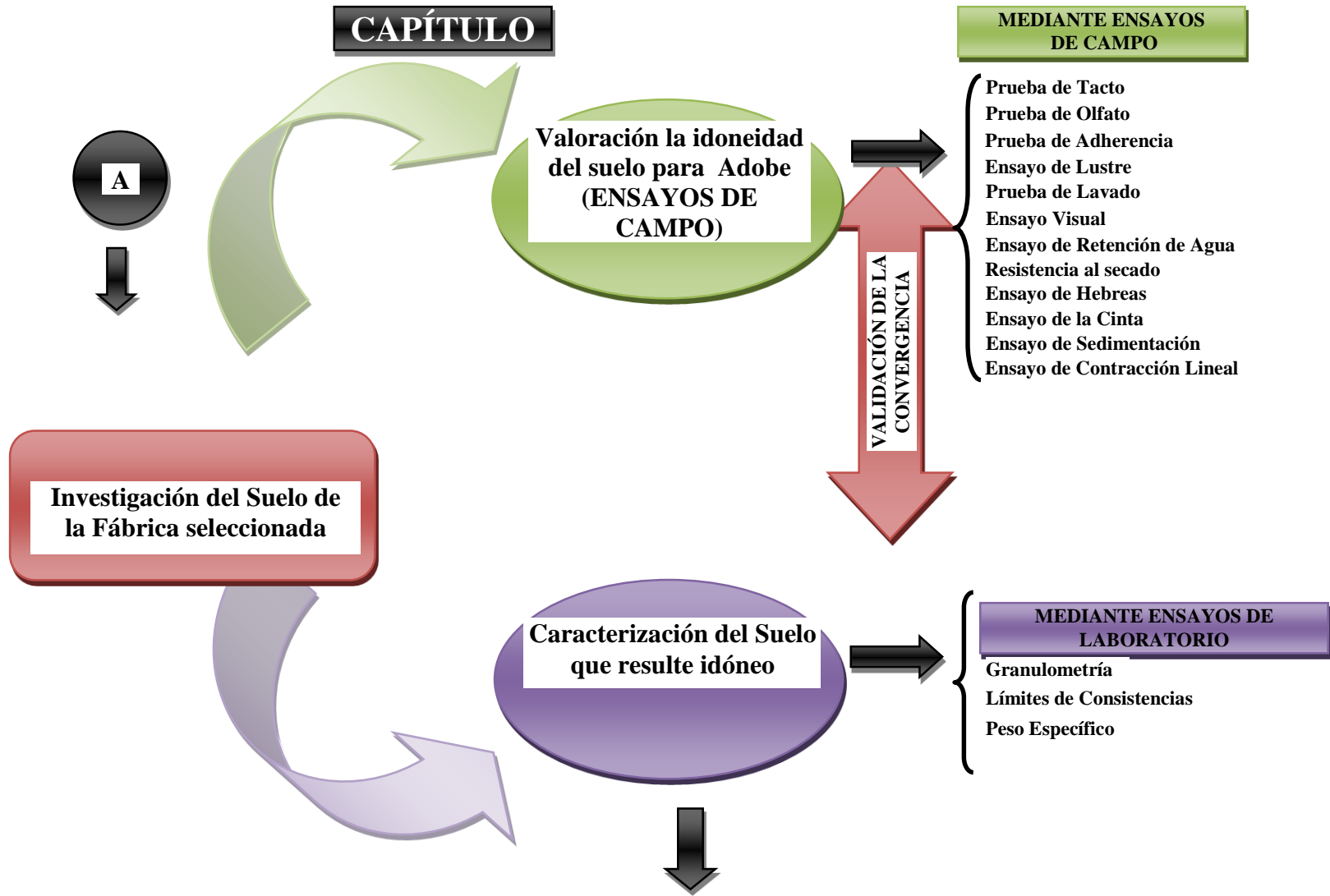
Foto 4.31: Fecha de término ensayo de intemperismo 31 - 03 - 2010

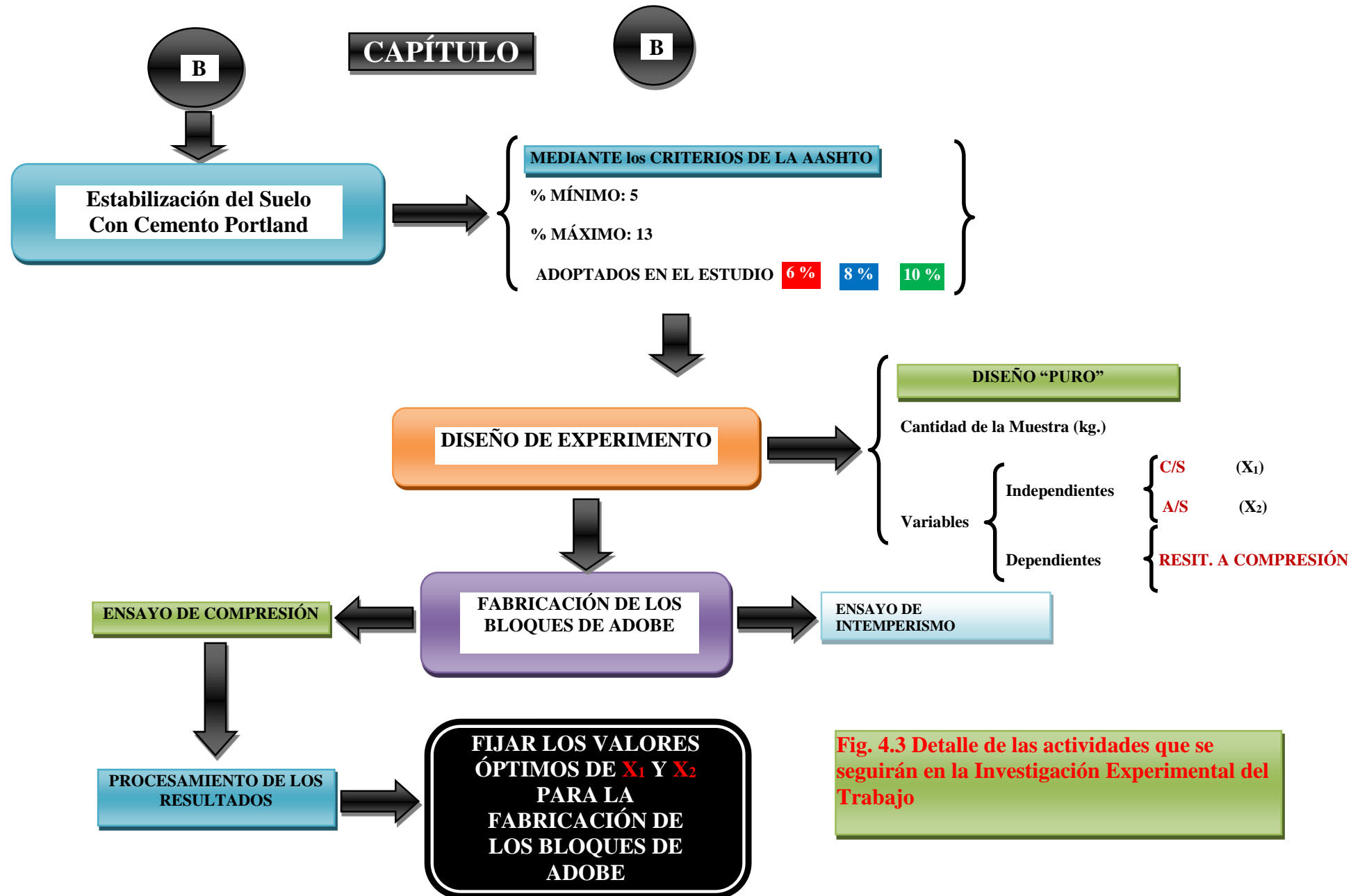
TERCER MOMENTO.- Los procedimientos que se siguieron durante el desarrollo de la presente investigación pueden ser ordenados en una secuencia *Metodológica* que permite sistematizarlos con el fin de poder aplicarlos a otras fábricas del Cantón o de cualquier otra región del país, ofreciendo así una variante más que tiene la intención de mejorar la cualidad de las viviendas que se construyan a futuro con bloques de adobe.





CAPÍTULO







UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES



5.1 CONCLUSIONES

- 1) En los capítulos II y III se detalla una amplia gama de ensayos tanto para determinar la idoneidad así como para caracterizar un suelo y, habiendo analizado algunos suelos pertenecientes a las minas donde actualmente se extrae el material se indica que la región sur del país específicamente Saraguro posee una gran riqueza para emplearse en la elaboración de adobe.
- 2) Los ensayos de campo, laboratorio, métodos así como los procedimientos utilizados en la presente investigación se constituyen en una herramienta suficientemente poderosa y sencilla de aplicar al momento de calificar a un suelo como idóneo o de caracterizarlo para ser empleado en la estabilización con cemento.
- 3) A falta de información sobre los porcentajes de cemento para estabilizar un suelo que se desee emplear en la fabricación de adobe resulta adecuado utilizar los indicadores para obras viales (carreteras) descritos por la HRB-ASSHO debido a que con ellos se mantiene equilibrio entre las cantidades de estabilizante empleado y el costo que ello implica siendo el peso seco de un adobe a estabilizar no mayor de 5,0 kg se tiene que para estabilizar con 8% cemento se invierte 5,6 centavos de dólar americano y para estabilizar con 10% de cemento el valor es de 7,0 centavos de dólar.
- 4) En el capítulo IV se presenta la secuencia de la investigación demostrando que es posible algoritmizar el proceso de estabilización del suelo con cemento de manera que se la puede considerar como una metodología generalizable a cualquier otra región o fabrica de adobe, más allá de la estudiada.
- 5) Las ventajas que se alcanzan con los bloques de adobe fabricados a partir de un suelo estabilizado con cemento respecto de las soluciones que tradicionalmente se vienen empleando se evidencian tanto en lo cualitativo cuando se realizan pruebas



de intemperismo los adobes mantienen su acabado sin presentar ninguna degradación a partir de un 8% en contenido de cemento y ventajas cuantitativas cuando las pruebas de compresión simple arrojan resultados para los adobes del **RG2** y **RG3** con incremento en su resistencia del orden (18 y 34)% respectivamente.

- 6) Los adobes fabricados a partir del suelo estabilizado con cemento no presentan residuos ni contaminación de proporciones considerables.
- 7) Tanto la materia prima como el material terminado es altamente reciclable, dando la opción de que en el futuro se cuente con estos desechos como parte del material para una nueva construcción en el lugar.
- 8) El suelo adecuado para la construcción está al alcance de la mano en muchas zonas del mundo, lo cual mantiene en niveles bajos los impactos que puede provocar el transportar el material desde lugares distantes para ser utilizado como materia prima.
- 9) Al implicar poca maquinaria esto también ayuda a que no exista contaminación producto de la industrialización o de la mecanización.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES



6.1 RECOMENDACIONES

1. Esta investigación al tener en el capítulo II una serie amplia de ensayos de campo se convierte en una herramienta eficaz para el análisis de idoneidad de un suelo a ser utilizado en la elaboración de adobe.
2. Incorporar la energía de compactación como una variable independiente adicional a la que se considera en la presente. En este caso se ignoró ya que en la zona no se utiliza máquinas de compactación y sobre todo pretendiendo acercar más el modelo teórico experimental empleado, a la vivencia práctica que se sigue en Saraguro para elaborar los bloques. Pero que ya se introduce la compactación tradicionalmente en otras regiones del norte del país para la elaboración de los bloques de adobe.
3. El repello como recubrimiento de las paredes debe ser obligatorio en la edificación con suelo con la finalidad de dar mayor protección a los elementos estructurales y con mayor razón cuando se trata de adobe sin presencia de estabilizante alguno.
4. Introducir respecto del diseño de las viviendas con adobe Aleros anchos en medida que la idiosincrasia del sector al que va dirigida acepte y de lo estéticamente posible para cada nivel de la edificación.
5. Usar adobe del grupo RG3 (10% de cemento) ya que presenta un incremento del 34 % en la resistencia respecto del adobe natural ver *tabla 3.8.*, con un incremento de 1,4 centavos en el costo respecto del adobe RG2 (8% de cemento), ya que desde el punto de vista de la resistencia al factor lluvia y económica de recursos presenta una opción real.



-
6. Es importante recalcar que se llegó a detectar un cierto nivel de convergencia puntualmente entre la prueba de hidrómetro y el ensayo de granulometría debido a que los porcentajes en que se ordenan las diferentes partículas de suelo en la botella son semejantes a los porcentajes registrados para los tamices N° 4, N°40 y N° 200 cuando se trata del mismo material. Por tanto se recomienda profundizar en este estudio ya que de ser el caso los puros ensayos de campo serian suficientes para determinar la idoneidad y caracterización de un suelo, obviando el proceso y gastos que ocasiona realizar los ensayos en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA



7.1 BIBLIOGRAFÍA

- BALBUCA, W y BENITEZ, E. “Manual Práctico para desarrollar Proyectos de Investigación y Tesis”. Ed. 1ra. Loja. Ecuador. 1998.
- CUBA. CUJAE. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, (1., 2004, Loja, Ecu.).
El Suelo como Material Alternativo de Construcción. Memorias.
Estabilización de suelos. 6p.
- CUBA. CUJAE. EL SUELO ESTABILIZADO, (89., 2004, Loja, Ecu.).
Memorias. Estabilización de suelos. 10p.
- CUBA. CUJAE. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS:, (1., 2004, Loja, Ecu.).
Formas de empleo del suelo en la construcción de edificaciones.
Memorias. Estabilización de suelos. 17p.
- CUBA. CUJAE. PROPIEDADES DEL SUELO; Suelos aptos para la
estabilización, (1. 2004, Loja, Ecu.) 2004 Propiedades del Suelo.
Memorias. 13p.
- CUBA. CUJAE. SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA EN AMÉRICA
LATINA, (1. 2004, Loja, Ecu.) 2004. La tierra como de material de
construcción: una alternativa para todos (fragmento de un artículo
tomado de internet). Memorias. 10p.
- Escuela Politécnica Nacional. INSTRUCTIVO PARA ENSAYOS DE
MECÁNICA DE SUELOS (4ª Edición). Laboratorio de Mecánica de
Suelos. Quito – Ecuador. Octubre – 1085.



IZQUIERDO, A., E. “Investigación Científica. Guía de Estudio y Técnicas de Investigación”. Ed. 2da. HOLOS. Grupo Leer. ISBN 9978-42-390-7. Quito. Ecuador. 2006.

PAZMIÑO, C., I. “Investigación Científica. Tiempo de Investigar”. Ed. 2da. HOLOS. Grupo Leer. ISBN 9978-42-390-7. Quito. Ecuador. 2006.

CARAZAS AEDO, Wilfredo. VIVIENDA URBANA POPULAR DE ADOBE EN EL CUSCO, PERÚ, 50 Asentamientos humanos y medio socio-cultural. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 48p.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

HAR.- Highway Research Board.

AASHO.- American Association of State Highway Officials.

SUCS.- Sistema Unificado de clasificación de suelos (por: A. Casagrande).

OQUE.- Oquedad, hueco, hoyo en un cuerpo sólido.

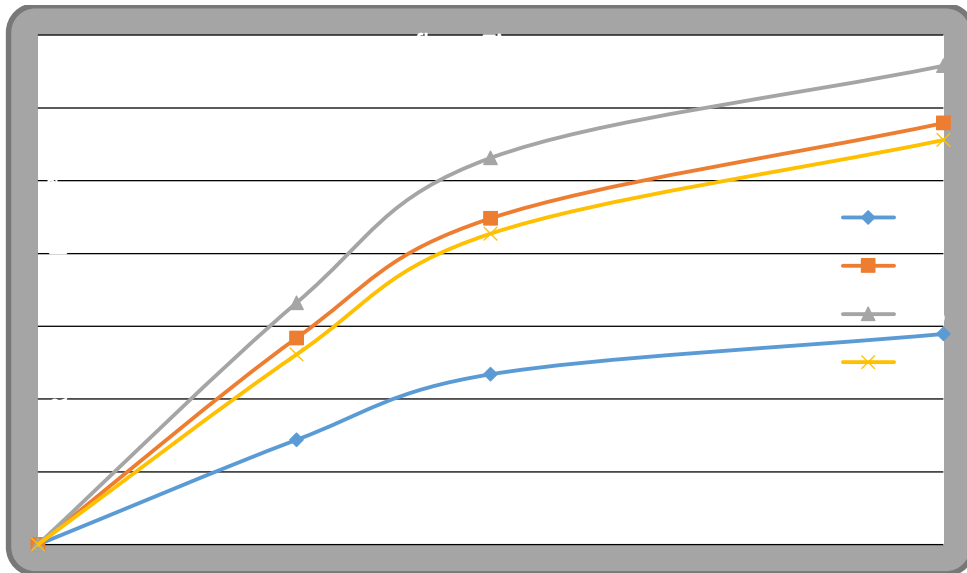
UNESCO.- Organización para la Educación, la ciencia y la Cultura de las Naciones Unidas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
DIRECCIÓN



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPÍTULO VIII

ANEXOS









1859

























1859













1859



1859



1859







1859



1859





1859







1859



1859



1859







1859



1859









1859













1859



1859











1859



1859















1859











1859





1859



