

# Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola

## Determination of stabilized soil mixtures based on local biomass resources used to improve the quality of housing built by the population in the territory of Uige, Angola

Jorge Rufino<sup>1\*</sup>, Iván Machado<sup>\*\*</sup>, Yosvany Dias<sup>\*\*</sup>

\* Universidad Agostino Neto. ANGOLA

\*\* Universidad Central Marta Abreu de las Villas. CUBA

Fecha de Recepción:13/03/2012

Fecha de Aceptación:27/07/2012

PAG 63 - 80

### Resumen

El presente trabajo constituye una investigación que, partiendo de las condiciones socioculturales, económicas y climático-ambientales de Uige, tiene en cuenta los recursos materiales, técnicos y humanos disponibles, así como las prácticas y técnicas constructivas de las tipologías tradicionales de esa región angolana, para proponer soluciones a las grandes necesidades de vivienda en el territorio. Debido a diversos factores relacionados con la caracterización de la zona de estudio, el fondo habitacional construido con tierra o suelo no tiene la durabilidad suficiente, con lo que aumentan los costos debido al deterioro y fallos de las instalaciones. De aquí que se propone y aborda la presente investigación para lograr incrementar la estabilidad del suelo y con ello la mejora de sus características como material de construcción. En este sentido el trabajo estuvo centrado en dos aspectos, primero la caracterización de la zona de estudio y la identificación de las problemáticas que inciden sobre la calidad y durabilidad del fondo habitacional construido, en segundo lugar la determinación de la mezcla suelo – estabilizador adecuada a partir del reciclaje y transformación puzolánica de residuos agrícolas locales.

**Palabras Clave:** Suelo-estabilizado, transformación puzolánica

### Abstract

*The present investigation work, based on the socio-cultural, economic and climatic-environmental conditions of Uige Province, covers the available material, technique and human resources, as well constructive practices of traditional typologies of that region, in order to propose solutions for the great housing requirements in that territory. Due to diverse factors related to the characterization of this studied area, the housing stock built from earth or soil mixtures has a poor durability, thus increasing costs due to facilities' deterioration and failures. Therefore, the present research proposes a way to increase soil stabilization, so as to improve the construction material characteristics. In that sense, this research work was focused in two aspects. On one hand, it was focused on the characterization of the studied area and the identification of problems, which impact the quality and durability of the already built housing stock. On the other hand, it was focused on the determination of the adapted stabilized-soil mixture made by means of recycled materials and the pozzolanic transformation of local agricultural residues.*

**Keywords:** Soil stabilization, pozzolanic transformation

## 1. Introducción

La búsqueda de soluciones a los acuciantes problemas de la vivienda popular y la producción de materiales adecuados de construcción es ocupación de múltiples centros de investigación e instituciones en todo el mundo. El uso de fuentes locales de materiales, incluyendo el reciclaje como forma de alargar el ciclo de vida y mejoras tecnológicas en los procesos productivos, son algunas de las vías importantes que en este sentido potencian muchas instituciones nacionales e internacionales.

En este campo, el rol fundamental del Estado angolano consiste en garantizar el acceso a la vivienda de las familias vulnerables, diversificando los promotores. Para ello se han creado instituciones y leyes, normativas y apoyo financiero, que reconocen la importancia de utilizar tecnologías apropiadas y sustentables en el marco de la situación imperante en la región norte de Angola.

## 1. Introduction

*Several international research centers and organizations are presently dealing with the search of solutions to the overwhelming problems existing in the popular housing field, as well as the adequate production of construction material. The use of local material sources, including recycling practices as a way to prolong the life cycle including technological improvements on production processes, are some of the most significant measures that several national and international institutions are enhancing in this sense.*

*In this field, the fundamental role played by the Angola Estate consists of ensuring housing access to the most vulnerable families, by means of developers' diversification. Hence, institutions, laws, and financing supports have been created, which validate the importance of the use of appropriate and sustainable technologies within the framework of the prevailing situation in Angola's northern region.*

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: rusoft03@yahoo.com.br

Actualmente la mayoría de la población de Angola, realiza un uso intensivo del suelo para la construcción de sus viviendas; sin embargo, a pesar del arraigo histórico de esta tecnología, existe desconocimiento de las formas apropiadas para construirlas, (Redinha 1964; Universidade Católica 2011) lo que ocasiona el uso incorrecto de ese recurso natural existente en el territorio, desperdicio de materiales y afectaciones a la durabilidad. Es por ello que resulta conveniente el estudio de procedimientos y materiales que mejoren el proceso de construcción de viviendas, para contribuir a atenuar el déficit habitacional existente en el país y la región.

En este sentido el suelo estabilizado resulta un material que puede contribuir al mejor desempeño del patrimonio en construcción (De Sensi 2003). Sin embargo de igual modo deben tenerse en cuenta los aspectos relacionados con el costo de los materiales y de las viviendas (Viñuales 2007) (Saroza 2000), por lo que es de desear el empleo de materiales locales, siendo la transformación de la biomasa una potencial fuente de elemento estabilizador para la construcción con suelo.

Según Minke (Minke 2001) en casi todos los climas cálidos, secos y templados del mundo, la tierra ha sido el material de construcción predominante. Huellas de la construcción con tierra datan de hace más de 9000 años. En la actualidad un tercio de la población mundial vive en viviendas de tierra y en países en vías de desarrollo más de la mitad de sus habitantes utilizan la tierra para la construcción de sus viviendas (FAO 2010).

La mezcla adecuada del suelo para ser utilizado como material de construcción en una aplicación específica depende de sus características concretas, sobre todo del tipo y contenido de arcilla que actúa como aglomerante para pegar las partículas mayores, como lo hace el cemento en el hormigón (Minke 2001)

En países de África central como Zambia, Congo, Zaire, Sudáfrica, que tienen similar tradición cultural de construir con tierra, se están desarrollando estudios de normalización técnica para el uso de este material, de acuerdo a las características climatológicas y geológicas de cada una de ellas (ANGOLA 2008).

Existen diferentes técnicas para trabajar la tierra cruda, y la mayoría de ellas son ancestrales, que se han mantenido con pequeños cambios desde la antigüedad, otras son aportes hechos más recientemente buscando mejorar las propiedades del material. A menudo los fallos estructurales del patrimonio construido están fuertemente relacionadas con las costumbres locales, la climatología del lugar y las características de la tierra disponible (Pons 2001).

El suelo posee un grupo importante de ventajas como material de construcción, entre ellas, que es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica, es reciclable, fácil de obtener localmente con poco gasto energético (Viñuales 2007). Coincidiendo con la literatura referenciada el autor considera que las cualidades del suelo como material de construcción pueden mejorarse a partir de la incorporación de estabilizadores provenientes de diversas fuentes. Además los deterioros y fallos de las estructuras construidas pueden disminuirse de forma importante si se consideran un grupo de recomendaciones tecnológicas al respecto.

*Presently, most of the population in Angola is extensively using soil mixtures for housing construction purposes. However, in spite of the historical ties to this housing technology, there is a total lack of knowledge on the appropriate construction methods (Redinha 1964; Universidade Católica 2011), which lead to the non-correct use of the natural resources existing in the territory, as well as to material waste and durability affectation. This is the reason why it is so convenient to study procedures and materials that may improve the housing construction process, in order to diminish the existing housing deficit in the country and in the region.*

*Consequently, the stabilized soil mixture becomes a material that may contribute to a better performance of the construction asset (De Sensi 2003). Anyway, the aspects related to material and housing costs must be taken into account (Viñuales 2007) (Saroza 2000). Therefore, the use of this local material is desired, being the biomass transformation a potential source of stabilizer element for soil construction.*

*According to Minke (Minke 2001), soil has been the predominant construction material in all kinds of hot, dry and temperate climates. Soil construction tracks date back to 9000 years ago. Presently, a third of world population lives on adobe housings and; in developing countries almost half of the inhabitants use the adobe for the construction of their housings (FAO 2010).*

*The proper soil mixture to be used as construction material, for a given specification, depends on its particular characteristics, especially on the type and content of clay, which acts as a binder to paste greater particles, in the same way cement acts in concrete (Minke 2001).*

*In some Central African countries such as Zambia, Congo, Zaire and South Africa, which have a similar cultural tradition on soil construction, technical normalization studies are being developed for the use of such material, in accordance with weather and geological characteristics existing in each one of them (ANGOLA 2008).*

*There are several techniques to work out an adobe mixture; most of them are ancestral ones, which have been kept with minor changes throughout time. Other techniques correspond to adaptations recently made, so as to improve the material properties. Frequently the structural failures on the constructed asset are strongly related to local traditions, the region climatology and the characteristics of the available soil (Pons 2001).*

*The soil has an important set of advantages as construction material, since it is a harmless material not containing toxic substances, it is recyclable, easy to obtain locally at low energetic expense (Viñuales 2007). In accordance with the reference bibliography, the author considers that soil qualities as construction material, can be improved by means of the addition of stabilizers coming from diverse sources. Besides the constructed structures deterioration and failures can be significantly reduced, if a set of technological recommendations are considered for this purpose.*

Por lo tanto, es deseable fundamentar una propuesta dirigida a mejorar las tecnologías y materiales locales de construcción para la región de Uíge, teniendo en cuenta las necesidades, tradiciones constructivas, economía, recursos humanos y materiales existentes en la misma.

En la actualidad un gran número de sustancias son utilizadas para estabilizar el suelo, sin embargo a criterio del autor, no hay un estabilizador universal que pueda ser utilizado en todos los casos. La estabilización depende de las características del agente estabilizador y las propiedades del suelo. Por otra parte es necesaria la disponibilidad económicamente fundamentada del agente estabilizador.

De este modo se propone el empleo de estabilizadores para el suelo de la región de estudio a partir de desechos de biomasa obtenidas localmente y calcinados. Las mezclas resultantes requieren ser caracterizadas a través de la determinación de la regularidad de sus cualidades de interés, en su carácter de adecuado y económico material de construcción.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Caracterización de la zona de estudio

La provincia de Uíge, está situada en la parte norte de la República Democrática de Angola (Redinha 1964; Ladeiro 1994), limitando al este con la República Democrática del Congo y por el sur con la provincia de Zaire según se muestra en la Figura 1, es una de las zonas más organizadas y mejor estructuradas desde el punto de vista económico, político, social y cultural del país, remontándose su evolución histórica desde la formación del Reino del Congo. Se destaca la influencia dejada por los portugueses en las tradiciones locales, donde además es importante la influencia de las tradiciones culturales de la etnia Bantú predominante en el territorio.

La provincia es esencialmente agrícola, se obtienen cosechas importantes de café, maíz, almendra, cocos, arroz, frijoles, plátano, piña, boniato, mango, fruta bomba, cacao, tabaco y aceite vegetal. (Ladeiro 1994; ANGOLA 2008)

El empleo del suelo, así como los materiales alternativos utilizados, los métodos, moldes y las herramientas empleadas para la construcción de viviendas en cada uno de los lugares de Angola, dependen de la iniciativa y el conocimiento desarrollados en cada caso, por lo que no existe uniformidad en las características constructivas de las viviendas en todo el país.

La realización de la caracterización de la provincia de Uíge se realizó en una serie de etapas entre las que se destaca la selección del método para la caracterización del objeto de estudio, el estudio de la evolución de la vivienda tradicional en Angola y sus tradiciones constructivas, la caracterización socio – demográfica, socio – cultural, climática – ambiental, tecnológica y no menos importante la caracterización económica.

Para el estudio se selecciona una muestra a la cual le fueron aplicadas entrevistas donde se obtuvieron características como forma de pertenencia de la vivienda, nivel de estudios de sus ocupantes, edad de la población por grupos, situación laboral, condición socioeconómica, características de las viviendas, acceso al agua, acceso a la electricidad, etc.

*Therefore, it is suggested to support a proposal leading to improve technologies and construction local materials in the Uíge region, by taking into consideration its requirements, constructive traditions, economy, human resources and materials availability.*

*Nowadays a huge amount of substances are used for soil stabilization. However, the author believes there is not a universal stabilizer, which could be used for all cases. Stabilization depends on the characteristics of the stabilizer agent and also on the soil properties. On the other hand, it is necessary to count with a stabilizer agent at reasonable cost.*

*In that sense, the use of soil stabilizers is proposed for the studied area by means of incinerated materials and biomass waste materials obtained locally. Resulting mixtures need to be characterized, by means of the determination of consistent properties and the proper low cost construction material condition.*

## 2. Development

### 2.1 Characterization of the studied area:

*Uíge province is located at the north of Democratic Republic of Angola (Redinha 1964; Ladeiro 1994), which eastern boundary is the Congo Democratic Republic, the southern boundary is the Zaire Province, as shown on Figure 1. Uíge is one of the most organized and best structured areas in the country from economical, political, social and cultural points of view. Its historical evolution dates back to the settlement of the Congo Kingdom. Portuguese colonists strongly influenced the local traditions, as well as the Bantu ethnic group that prevailed in the territory, which traditions are also significant.*

*The province is essentially based on agriculture, where several products are obtained, such as coffee, corn, almond, coconut, rice, beans, banana, pineapple, sweet potato, mango, papaya, cacao, tobacco, vegetal oil (Ladeiro 1994; ANGOLA 2008)*

*Soil exploitation; alternative materials, methods, formworks and tools employed for housing construction in any Angola's region will depend on the initiative and knowledge acquired for each case. Therefore, there is no uniformity of housing constructive characteristics in the country.*

*The characterization of the Uíge Province was made in several stages, which are the selection of a method to characterize the study subject; the study of the evolution of traditional housing in Angola as well as its constructive traditions; and the social-demographic, social-cultural, climatic-environmental, technological and economical characterization.*

*A sample was selected to conduct this study, and several surveys were applied thus obtaining characteristics on the housing ownership, educational level of inhabitants, population ages per groups, labor condition, social-economic situation, housing features, water availability, electricity availability, etc.*



La construcción de viviendas, mantenimiento, durabilidad y conservación de las viviendas en la provincia de Uíge, y en Angola en general, es un problema muy complejo y está enmarcado en la situación social y de carencias de los habitantes, que hace que su solución dependa de un programa global de desarrollo de la comunidad donde se destacan graves insuficiencias tales como la falta de proyectos que involucren a organizaciones no gubernamentales y programas del estado para combatir la pobreza absoluta y el desempleo (Redinha 1964; Carrera 1998; Lopes 2011).

Se observan insuficientes redes de agua potable, de drenaje y canalización de aguas albañales, baja infraestructura de redes comerciales, e ineficaces programas de gobiernos para incentivar la auto sostenibilidad.

De igual manera caracterizan la situación de la región el bajo nivel de escolaridad con un 16 % de analfabetismo, desempleo con una tasa superior al 20 %, baja comercialización de productos agrícolas, falta de carreteras y vías de acceso, así como muy significativo para los objetivos de este trabajo un 38.7 % de personas sin viviendas.

Todo esto contribuye de manera notable a la situación habitacional de la región y en los medios y formas de construcción de las viviendas de la zona, construidas por personas que por su mala situación económica no se convierten en su mayoría en residentes permanentes y no trasladan de una generación a otra los hábitos y modos de construcción ancestrales que existían en la región, construyendo casas temporales y sin condiciones que de ningún modo resuelven de manera definitiva la difícil situación habitacional.

En la provincia de Uíge la etnia predominante es la Bantú Bakongo, aspecto socio cultural de interés con respecto al modo de vida, las viviendas de estos pobladores son generalmente casas pequeñas, con una o dos habitaciones, la cocina por lo general está en el exterior y por necesidades de espacio y comodidad muchas veces solo se utiliza la vivienda para dormir y guarecerse de las inclemencias del tiempo.

De igual modo para comprender la situación habitacional de la población de la provincia de Uíge es necesario determinar su situación climático ambiental y su efecto sobre las construcción de viviendas y su estado. La provincia se encuentra en una región designada como "zona tórrida" de clima predominantemente tropical caliente y húmedo, caracterizado por dos estaciones bien definidas, la estación de lluvias con inicio en septiembre/octubre continúa hasta mayo, siendo los meses de noviembre y abril los más lluviosos. La estación seca se extiende de junio hasta agosto (ANGOLA 2008; Universidade Católica 2011), siendo la estación más apropiada para la construcción con suelo.

Los valores de las precipitaciones alcanzan cerca de los 1500 mm por año. En la estación seca prácticamente no llueve, sin embargo se registran valores altos de humedad relativa. Por otra parte, los vientos permanentemente en la región alcanzan velocidades de hasta 5.3 km/h cuyo impacto constante sobre la superficie de los muros ocasiona desgaste, tanto en los bloques de adobes como en los revoques exteriores por la poca densidad del mortero que no resiste los desgastes de sus partículas.

*The construction of housing, their maintenance, durability and preservation in the Uíge Province and, in Angola in general, become a very complex problem, which is within the framework of their inhabitants' social situation and deprivation conditions. Thus the solution depends on the development of a global community program, which today has serious shortages, such as the lack of projects involving nongovernmental organizations and government programs to fight the extreme poverty and unemployment (Redinha 1964; Carrera 1998; Lopes 2011).*

*There are insufficient networks of drinking water piping, drainage, sewage disposal conduits, poor commercial network infrastructure and non-effective government programs to enhance self-sustainable practices.*

*Similarly, the low educational level achieves a 16% of illiteracy rate, unemployment at a rate greater than 20%, poor agricultural products trade, lack of highways and access roads and; almost a 38.7% of homeless people, which is quite significant for the purposes of this research.*

*The above factors notably affect this region's housing situation and, they also influence the methods and ways houses are built in this area. Houses are built by low economical resources people, who generally become temporary inhabitants and they do not transfer the available ancestral techniques from one generation to the next one, thus they only build temporary houses. Therefore, the complex housing condition cannot achieve a long-lasting solution.*

*Bantú Bakongo is the predominant ethnic group in Uíge Province, which becomes an important social-cultural aspect of their way of living. Dweller's houses are usually small, having one or two bedrooms, the kitchen is generally placed outdoors and, due to space and comfort restrictions, they frequently use the house just to sleep and to shelter themselves from inclement weather.*

*In the same way, so as to understand the housing situation of the population living in the Uíge Province, it is necessary to determine the environment-weather conditions and their effect on the housing construction and its status. The province is located in a region known as "torrid zone", which climate is predominately hot, tropical and wet, it has two well-defined seasons. Rainy season begins in September/October until May, being November and April the rainiest months. Dry season goes from June until August (ANGOLA 2008; Universidade Católica 2011), thus this season becomes the most appropriate for soil construction.*

*Precipitation averages reach almost 1500 mm per year. Practically there is no rain during dry season; however, there are high values of relative humidity. On the other hand, winds on permanent basis achieve speeds of almost 5.3 km/h, which constant impact generates wearing out on the walls surfaces, either on adobe's bricks or on the external plaster, due to the low density of the mortar not resisting corrosion of its particles.*

Los principales causantes de muchos de los deterioros de las viviendas son las lluvias y la humedad, la falta de refuerzos constructivos ante fenómenos naturales como las inundaciones, los deslizamientos y los hundimientos de terreno por inestabilidad geológica; así como los factores antrópicos. (Redinha 1964; Higuera. 2003).

La sostenibilidad del estado constructivo en mejores condiciones depende de la utilización de normas mínimas de seguridad física, y en Angola no existen normas de construcción con tierra. A pesar de ello en Angola el 63,5 % de la población prefiere utilizar este material en sus edificaciones, y lo seguirá haciendo por muchas décadas más, principalmente por el bajo costo que tiene, por la gran disponibilidad para la autoconstrucción y por sus propiedades de aislamiento térmico y adecuación al medio ambiente cuando están bien utilizadas.

*The main sources of housing wearing out correspond to rains and humidity, the lack of constructive reinforcements enduring natural phenomenon such as floods, landslides and ground caving due to geological instability, as well as man-induced factors (Redinha 1964; Higuera. 2003).*

*The construction sustainability status, under better conditions, will depend on the employment of minimum physical safety regulations, however, in Angola there are no soil construction regulations. In spite of that fact, in Angola the 63.5% of the population prefers to use this material for building their houses and they will continue to do so, mainly because of its low cost and its great availability for self-construction, because of thermal isolation properties and proper adaptation to the environment when the material is properly used.*

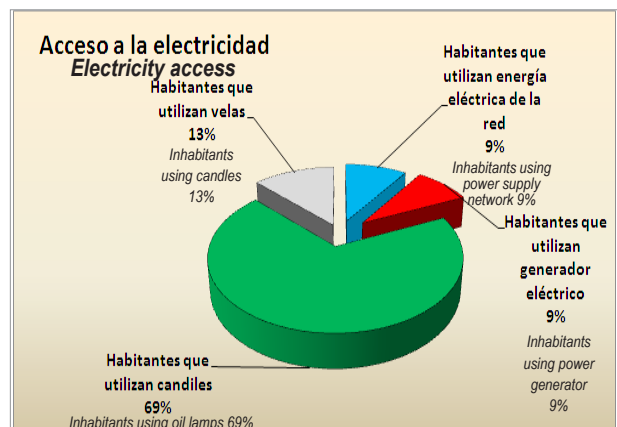
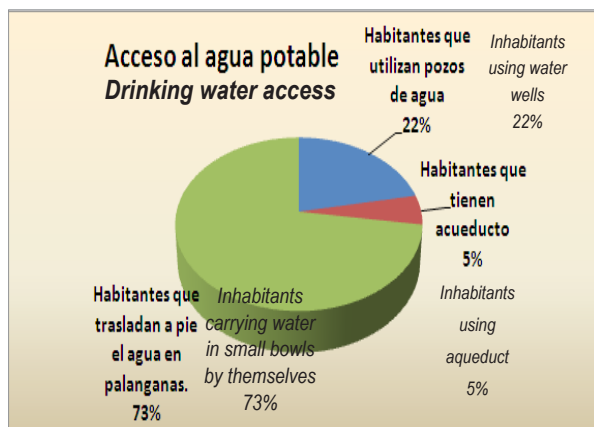
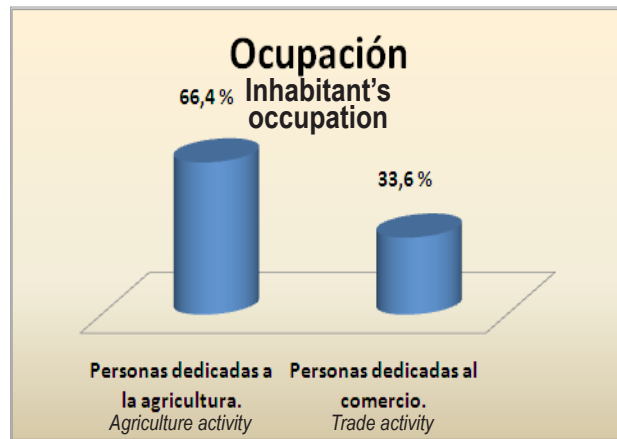
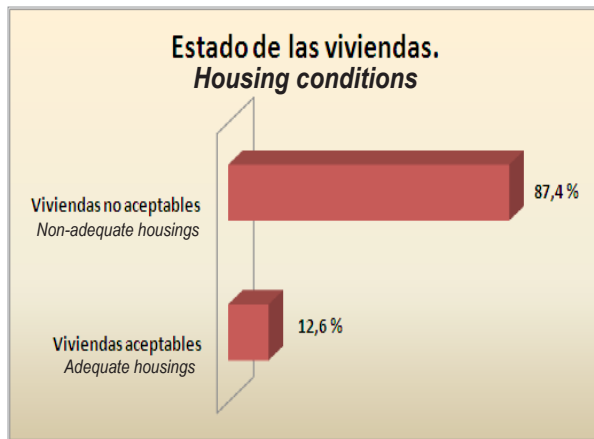
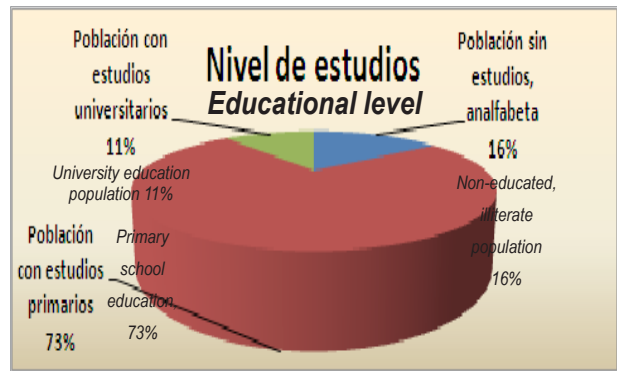
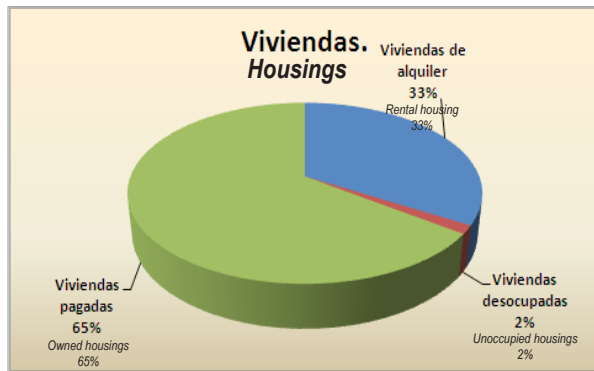


Figura 2. Ilustración gráfica de algunas de los descriptores y sus indicadores  
 Figure 2. some graphic illustrations of descriptors and their indicators

### 2.1.1 Caracterización tecnológica y tipológica de las viviendas en la región de estudio.

La caracterización de la vivienda por tipos arquitectónicos parte de su consideración como un sistema espacial dado por la actividad productiva que realizan las familias que lo ocupan.

Las siguientes características constructivas tipifican las viviendas de Uíge:

**Paredes:** Son fabricadas con adobe y tapial.

**Techos:** La cubierta está construida de chapas de zinc a dos aguas apoyadas en las paredes laterales provista además de aleros, también se presentan techos de guano embutido en las paredes.

**Pisos:** Se elaboran con una mezcla de cemento y piedras.

Sin embargo las formas constructivas no siempre son las adecuadas por lo que las viviendas poseen poca durabilidad y calidad constructiva (Redinha 1964; Viñuales 2007). Se constata que los mayores problemas están dados por las afectaciones producidas por la humedad y el desconocimiento de las medidas preventivas que en este sentido se pueden proyectar, incluyendo la mejora de los materiales (estabilización del suelo), adecuadas cimentaciones y protección mediante amplios aleros y repellos de los muros.

No siempre se tiene en cuenta un grupo de recomendaciones que ayudan a la durabilidad de las viviendas y que han sido materializadas a través de la cultura popular constructiva. Se consideran además como típicas de la región las siguientes características constructivas.

Las fachadas son alargadas y orientadas en dirección este-oeste. El ambiente cálido y húmedo, necesita sombra para eliminar la radiación en las paredes (fachadas) este y oeste, así como para aprovechar cualquier movimiento del aire (ventilación natural cruzada)

Los elementos de sombra utilizados fundamentales son persianas venecianas verticales u horizontales y otros similares. También se requiere el uso de barandas "recogidas" en las fachadas y corredores exteriores, ambas soluciones proporcionan sombra protectora a las habitaciones contiguas. Las viviendas son normalmente fabricadas de adobe, barro con paja, bloques o ladrillos.

Las viviendas en general tienen por habitaciones, aproximadamente las siguientes dimensiones, sala 17 m<sup>2</sup>, cocina área 4 m<sup>2</sup>, dormitorios 2 ó 3 con área 17 m<sup>2</sup> cada uno, baño sanitario 3 m<sup>2</sup> el cual está situado en el exterior de la vivienda.

Los conjuntos poblacionales crecen, pues la natalidad en la provincia y en el país es muy alta por lo que las habitaciones de las viviendas son pequeñas y no cuentan con el confort requerido, el conjunto habitacional puede estar ocupado por una cantidad de 4 a 8 personas, varios asentamientos se encuentran dispersos o concentrados en función de la organización familiar (Redinha 1964; Lamure 1980; Romero 1990; Sánchez 2007).

## 2.2 Materiales y metodos

### • Estudio del Suelo

En esta investigación se utiliza suelo tomado aleatoriamente de diversos sitios cercanos a los asentamientos actualmente en construcción en la provincia angoleña de Uíge, el cual, una vez examinado mediante un grupo de prácticas tacto-visuales de campo propuestas por varios autores (Morales 1993; Pons 2000; Minke 2001; Saroza 2006; Gomes 2009),

### 2.1.1 Techological and typological housing characterization in the studied region

*The housing characterization, per architectonic type, is based on the consideration of the spatial system provided by the productive activity developed by the inhabitant families.*

*The following constructive characteristics categorize Uíge's housings.*

**Walls:** *They are elaborated from adobe and rammed earth.*

**Roofs:** *Deck is constructed from gable roof corrugated zinc supported on the side walls also having roof eaves. They also have guano roofs embedded into the walls.*

**Floors:** *They are elaborated from a stone and cement mixture.*

*However, constructive methods are not always adequate and, therefore, housings have a poor constructive durability and quality (Redinha 1964; Viñuales 2007). It is proven that the major problems are given by the affectations produced by humidity and the lack of knowledge on the preventive measures that could be foreseen, such as material quality improvement (soil stabilization), adequate foundations and protection by means of the use of wide roof eaves and walls plasters.*

*The set of recommendations contributing to housing durability, which are materialized throughout the constructive popular culture, are not always taken into account. Besides, the following constructive characteristics are considered as typical in the region.*

*Front walls are lengthened and oriented in east-west direction. The warm and humid environment requires some shade to AVOID solar radiation on east-west walls (front walls) and, also to take advantage of any air movement (crossed natural ventilation).*

*Shade elements mainly employed correspond to vertical or horizontal venetian blinds, and others of similar type. Rolled up railings are also required by front walls and outdoor corridors. Such elements provide protective shade to the adjacent rooms. Houses are normally made from adobe bricks, mud and straw, blocks and bricks.*

*Each house room has approximately the following areas: living-room 17 m<sup>2</sup>, kitchen 4 m<sup>2</sup>, 2 or 3 bedrooms 17m<sup>2</sup> each, rest room 3 m<sup>2</sup>, which is located outdoors.*

*Residential complexes are constantly expanding as the national birth rate is very high. Therefore, bedrooms are small and they do not provide the required comfort. The residential complex can be inhabited by 4 up to 8 persons. Several settlements are dispersed or concentrated in accordance with the family organization (Redinha 1964; Lamure 1980; Romero 1990; Sánchez 2007).*

## 2.2 Materials and methods

### • Study of soil

*This research employs a portion of soil randomly selected from diverse locations close to the settlement, presently under construction, in the Angolan Uíge Province. This soil portion is examined by means of a set of on-site feel-visual practices proposed by several authors (Morales 1993; Pons 2000; Minke 2001; Saroza 2006; Gomes 2009),*

muestra cualidades que lo clasifican como apropiado para la elaboración de adobes para construcción de viviendas.

Una vez establecida esta condición previa, se realizó un grupo de ensayos destinados a conocer sus características físicas y su composición química. El suelo fue caracterizado encontrándose que los yacimientos poseen un comportamiento plástico, predominando arcillas arenosas, color pardo claro que presentan un alto porcentaje de carbonatos. Su principal empleo, a nivel artesanal, es en la producción local de ladrillos de adobe.

showing properties which determine its suitability for housing construction from adobe bricks material.

Once this condition was fulfilled, a set of tests were developed in order to achieve its physical characteristics and its chemical composition. The soil was characterized finding that deposits have a plastic behavior, where light brown sandy clays are predominant, which have high carbonate percentages. Its main use is the local production of adobe bricks at small scale.



**Figura 3.** Cantera de extracción de suelo para la construcción de viviendas  
**Figure 3.** Soil exploitation quarry for housing Construction

Los valores de las características físicas del suelo investigado se corresponde con los siguientes valores promedios, peso específico 2.69, limite liquido 44.04, limite plástico 22.52, índice de plasticidad 21.52, con un contenido de arcilla superior al 43.2 %.

The physical characteristics values of soil under study achieve the following average values: specific weight 2.69, liquid limit 44.04, plastic limit 22.52, plasticity index 21.52 and, clay content higher than 43.2%.

- **Estudio de los estabilizantes. Cenizas de bagazo de caña de azúcar(CBC) y cuesco de palma africana (CPA).**

Se encontraron en el territorio de Uige varios materiales que pudieran ser utilizados como estabilizadores de suelo. (Ver Tabla 1) Dentro de ellos el bagazo de caña, es una fuente local económica y abundante, así como los cuescos de la palma africana, que pudieran constituir posibles estabilizadores del suelo, por lo que se seleccionaron preliminarmente, ya que, como otros desechos agrícolas, no tienen un destino asignado en estos momentos.

- **Study of stabilizer agents. Sugarcane Bagasse Ashes (CBC) and African Palm Shells (CPA)**

Several materials were found in Uige territory that could be used as soil stabilizer agents. (See Table 1). Among them, sugarcane bagasse is a local low cost source widely available, as well as the African Palm Shells. Both of them were preliminarily selected as potential soil stabilizer agents, since these agricultural residues are not used for other purposes at this moment.

**Tabla 1.** Volumen de residuos agrícolas existentes en la región

**Table 1.** Agricultural residues available in the region

Residuos Agrícolas/ Agricultural residues	Existencia en Uige/ Availability in Uige
Bagazo de caña de azúcar/Sugarcane bagasse	936 mil toneladas/ thousand tons
Cuesco de palma africana/ African palm shells	589 mil toneladas/ thousand tons
Cáscara de arroz/ Rice husk	No se produce suficiente/ Insufficient production
Cascarilla de café/ Coffee husk	25 000 toneladas/tons
Cocos/ Coconut	80 000 toneladas/tons



Las muestras de cuesco de palma africana y el bagazo de caña de azúcar, proceden de dos grandes plantaciones y dos pequeñas industrias de azúcar, así como varias aceiteras, las cuales, en el año 2011 produjeron 589 mil toneladas de cuesco y 936 mil toneladas de bagazo de caña de azúcar (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010).

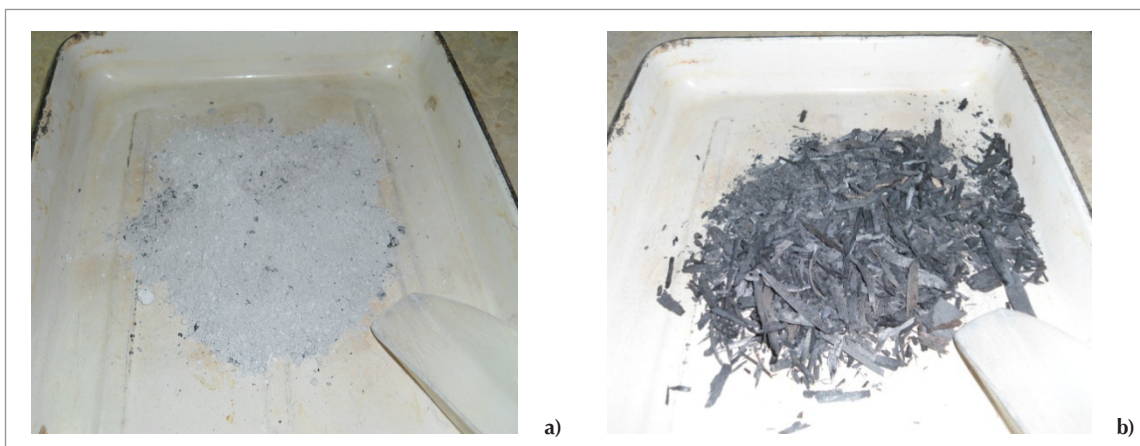
*Sugarcane bagasse and African palm shell samples come from two huge plantations, from two small size sugar industries and several oil factories, which during 2011 produced 589 thousand tons of shells and, 936 thousand tons of sugarcane bagasse (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010).*



**Figura 4.** Cuesco de palma africana  
**Figure 4.** African palm shell

Estos residuos agrícolas fueron convertidos en cenizas, para lo cual fueron sometidos a un proceso de combustión o calcinación a temperaturas de 600, 700 y 800°C, durante un tiempo de 120 minutos. Los niveles de las variables temperatura y tiempo fueron tomados según el criterio de diversos autores (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010; Machado 2011)

*Such agriculture residues were converted into ashes by means of combustion or incineration processes, at temperatures of 600, 700 and 800°C, during a period of 120 minutes. The temperature levels and time variables were provided in accordance with different authors (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010; Machado 2011).*



**Figura 5.** a) Ceniza de cuesco de palma africana, b) Ceniza de bagazo de caña  
**Figure 5.** a) African Palm Shell ashes, b) sugarcane bagasse ashes

Todas las cenizas obtenidas se molturaron en un molino Cole Casper 89550-10, a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.); se fijó un número total de 500 vueltas. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descargó el material del cilindro y se procedió al tamizado de la muestra por un tamiz No 200. (Ver Tabla 2).

*All obtained ashes were grinded by a Cole Casper 89550-10 grinder cylinder, at a speed varying from 188 to 208 rad/minute (30 and 33 rpm); and a total number of 500 turns were set. Once turns were completed, material was released from the cylinder and the sample was sieved by employing a sieve Nr. 200 (see Table 2).*

**Tabla 2.** Distribución porcentual de la ceniza molida y tamizada  
**Table 2.** Percentage distribution of grinded and sieved ash

Ceniza de Cuesco de Palma Africana/ African Palm Shell ash			Ceniza de bagazo de caña/Sugarcane bagasse ash		
Fracción/Fraction	Peso/Weight ( g)	Distribución/Distribution %	Fracción/ Fraction	Peso/Weight ( g)	Distribución/ Distribution %
> Tamiz/Sieve # 200	749	73.7	> Tamiz # 200	765	72.9
< Tamiz/Sieve # 200	267	26.2	< Tamiz # 200	256	25.9

Los ensayos de caracterización de las cenizas fueron realizados en el Instituto Eduardo Torroja, España, en el laboratorio de la Cimangola (empresa de cemento de Angola) y laboratorios de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Cuba.

Ashes characterization tests were carried out at the Eduardo Torroja's Institute, Spain; at Cimangola Laboratory (concrete company in Angola) and at the laboratories of the National Applied Research Company (ENIA, Cuba).

**2.2.1 Composición química y reactividad puzolánica de las cenizas**

Se realizó el análisis elemental (porcentajes de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno), el análisis inmediato (humedad según la ASTM D-3175-73, volátiles según la ASTM D-3175-77, cenizas según ASTM D-3174-73 y el contenido de carbono fijo), así como se determinó el poder calorífico, en atmósfera dinámica de oxígeno (50 ml/min) evaluando un rango de temperaturas de 25 -1.000°C a una velocidad de 10°C/min. Los resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 3.

**2.2.1 Ashes' chemical composition and pozzolanic reactivity**

The following analyses were conducted: elemental analysis (percentages of carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur and oxygen); immediate analysis (humidity as per ASTM D-3175-73, volatiles as per ASTM D-3175-77, ashes as per ASTM D-3174-73 and the content of carbon fixation). Additionally, calorific value was determined for a dynamic oxygen atmosphere (50ml/min) considering temperatures ranging from 25 to 1,000°C at 10°C/min speed. The results of such analyses are shown on Table 3.

**Tabla 3.** Análisis elemental e inmediato de los residuos agrícolas procedentes de Uige  
**Table 3.** Elemental and Immediate Analyses on agricultural residues coming from Uige

Muestras/ Samples	%H	%Vv	%A	%Cf	%C(lhc)	%O(lhc)	%H(lhc)	%N(lhc)	CEC <sup>1</sup>
BCA	44,9	49,9	1,5	3,7	28	22	3,5	0,1	11,5
CPA	11,2	48	1,4	39,4	40,2	40,5	5,7	1	21,5

**H: Humedad Vv: Volátiles A: Cenizas Cf: Carbono fijo C .Carbono O: Oxigeno H :Hidrog. N:Nitrog**  
**H: Humidity; Vv: Volatiles; A: Ashes; Cf: Carbon fixation; C .Carbon; O: Oxygen; Hydrogen N:Nitrog**

**Leyenda: lhc: libre de humedad y cenizas; CEC Poder calorífico(MJ/Kg.)**  
**Legend: lhc: humidity and ashes free; CEC calorific value (MJ/Kg.)**

<sup>1</sup> Valor obtenido por calorimetría (Calorímetro Mettler-Toledo) Masa de trabajo. EN 14918  
<sup>1</sup> Value obtained by means of calorimeter (Mettler-Toledo calorimeter) Work Mass. EN 14918

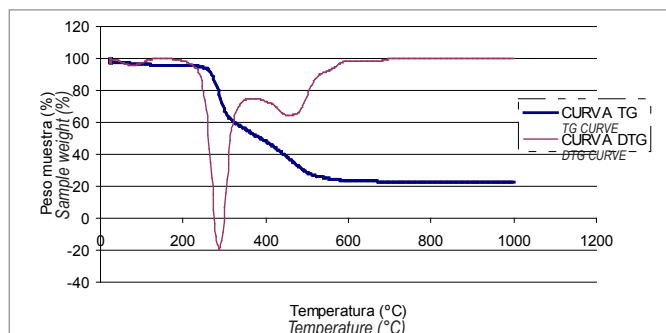
**Fuente: Elaboración propia. Laboratorio IET. Madrid. España**  
**Source: Self elaboration. IET Laboratory. Madrid, Spain.**

Para el estudio de las características térmicas de las biomásas seleccionadas se realizó el análisis de termogravimetría (TG), para determinar la evolución de la pérdida de peso durante la combustión y el porcentaje final de cenizas.

For the thermal characteristics analysis on the selected biomasses, a thermogravimetry (TG) analyzer was employed, so as to determine the evolution of weight losses during combustion process and the final percentage of available ashes.

El análisis de las curvas TG muestra una pérdida de peso gradual que modifica la pendiente de la curva de acuerdo a la temperatura, se puede describir del modo siguiente el proceso que ocurre en diferentes etapas ó fases. Primeramente hasta aproximadamente 130°C – 140°C la curva tiene muy poca pendiente lo que refleja una menor pérdida de peso que está relacionada con la eliminación de la humedad contenida en la muestra. En el intervalo de temperatura de 100 - 210°C: además de la humedad también son removidos compuestos volátiles, los cuales son arrastrados por el flujo de vapor de agua que sale de la biomasa durante el proceso de evaporación.

TG curves analysis shows a gradual weight loss modifying the curve slope in relation to the temperature. The process taking place in different stages or phases can be described as follows. At temperatures close to 130°C – 140°C, the curve has a small slope thus reflecting a lower weight loss, which is associated to the elimination of humidity contained by the sample. In the temperature range from 100 to 210°C, humidity content and volatiles compounds are also removed, which are swept by the water vapor flow coming out from biomass during evaporation process.



**Figura 6.** Variación del peso del CPA vs temperatura  
**Figure 6.** CPA weight changes v/s temperature

Finalmente a temperaturas superiores a 210°C la pendiente del registro termo-gravimétrico de la biomasa cambia de forma significativa, indicando el comienzo del proceso de carbonización provocado por desprendimiento de los compuestos volátiles. En el intervalo de temperaturas comprendido entre 220 y 600°C se establece una pérdida creciente de los constituyentes de la biomasa que son arrancados de la estructura amorfa de la misma con mayor facilidad por los efectos de la temperatura. Por encima de 600°C la pendiente de la pérdida de masa es mínima, ya en esta etapa se obtiene el producto final completamente devolatilizado que no es otro que el residuo sólido conocido como ceniza.

Se obtiene una cantidad de cenizas que puede ser, una vez comprobada su pozzolanicidad, incorporada como material de construcción de características similares a las cenizas volantes u otras pozzolanas artificiales, lo cual podría mejorar sensiblemente las propiedades del suelo.

El estudio de la reactividad pozzolánica se lleva adelante a partir de los residuos de la combustión controlada en la mufla eléctrica tipo LH 30/14, a temperaturas de 600, 700 y 800 °C de las materias primas inicialmente colectadas en las inmediaciones de la ciudad de Uge.

Las materias primas son introducidas en el horno por un período de 2 horas, luego son extraídas y enfriadas a temperatura ambiente con el objetivo de preservar los cambios y transformaciones morfológicas que pueden haber sufrido por el efecto del tratamiento térmico.

La composición química de las cenizas expuestas en la Tabla 4 refleja de acuerdo al contenido de los óxidos principales, un comportamiento potencialmente pozzolánico. No se evidencian diferencias significativas en cuanto al efecto de los diferentes niveles de temperatura, siendo notable el bajo contenido de carbón que denota un adecuado proceso de incineración de la biomasa.

La reactividad pozzolánica se determina de acuerdo a la cantidad de cal que reacciona con la ceniza, este procedimiento es descrito por la norma europea EN – 450 . En la Figura 7 se muestran los resultados. La tendencia es al aumento de la reactividad pozzolánica con el tiempo, téngase en cuenta que la reacción pozzolánica ocurre de forma más lenta que en el caso del CaO.

Estos resultados son consistentes con la literatura donde se reportan adecuados resultados pozzolánicos para el bagazo y la paja de caña incinerados de forma controlada a temperaturas en el intervalo de 600 a 700 °C (Day 2000; Martirena J. F 2006).

*Finally at temperatures higher than 210°C, the biomass slope thermal-gavimetric record significantly changes, thus indicating the beginning of the carbonization process provoked by the volatile compounds release. At temperature interval ranging from 220 to 660°C, there is an increasing loss of biomass compounds, which are easily removed from the amorphous structure due to temperature effects. At temperatures higher than 600°C, the weight loss mass is minimal, provided that in this stage the final volatiles-free product is obtained, which is the solid residue known as ash.*

*The obtained ashes amount, after proving its pozzolanic properties, can be used as construction material with similar characteristics to the fly ashes or other artificial pozzolans, which could noticeably improve the soil properties.*

*The pozzolanic reactivity study is conducted by using the residues of controlled combustion raw materials initially collected in the Uge City surroundings, in an electric muffle type LH 30/14, at temperatures of 600, 700 and 800 °C.*

*Raw materials are placed in the furnace during a two-hour period, and then they are removed and cooled at environment temperature, in order to preserve morphological changes and transformations they may have suffered due to the thermal treatment effect.*

*The chemical composition of ashes presented on Table 4 show a potential pozzolanic behavior, in accordance with the main oxide content. There are no significant differences regarding diverse temperature levels, showing a noticeably low carbon content, which demonstrates this is an adequate biomass incineration process.*

*Pozzolanic reactivity is determined in accordance to the amount of lime reacting to the ash. This procedure is described by the European regulation EN – 450. Figure 7 shows the corresponding results. There is an upward tendency of pozzolanic reactivity throughout time, taking into account that the pozzolanic reaction takes places in a slower way than in the case of CaO.*

*Such results are in the same line with the literature reporting adequate pozzolanic results for the sugarcane bagasse and straw incinerated at controlled temperatures in the range from 600 to 700 °C (Day 2000; Martirena J. F 2006).*

**Tabla 4.** Composición química. Cuesco de palma africana (CPA). Bagazo de caña de azúcar (BCA). (Temperatura de calcinación 600, 700, 800 °C)  
**Table 4.** Chemical composition. African palm shell (CPA). Sugarcane bagasse (BCA). (Incineration temperatures 600, 700, 800 °C)

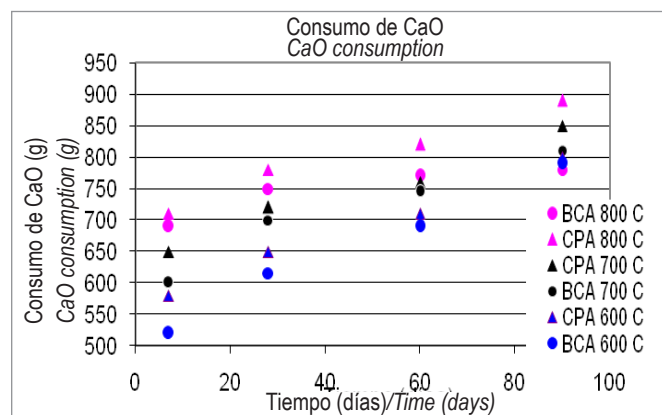
Comp.	CPA 6	CPA 7	CPA 8	DS	BCA 6	BCA 7	BCA 8	DS
*Si O <sub>2</sub>	64,8	65,2	66,5	0,283	63,7	63,3	64,5	0,611
*Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,3	5,7	5,5	0,424	3,3	3,5	3,55	0,132
*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	2,5	2	0,252	3,8	4,2	3,2	0,503
CaO	10,,1	10,6	0,4	0,141	11,5	11,3	11,7	0,200
K <sub>2</sub> O	3,5	3,1	2,8	0,351	3,3	3,1	3,6	0,252
MgO	3,55	3,4	3,3	0,126	3,6	3,1	3,3	0,252
SO <sub>3</sub>	1,2	1,35	1,3	0,076	1,5	1,8	1,7	0,153
Na	0,6	0,52	0,49	0,057	0,45	0,4	0,38	0,036
Carbon	1,35	1,3	1,2	0,076	1,6	1,46	1,4	0,103
PPI	3,5	3,6	3,8	0,153	4,2	4,7	4,6	0,265
Σ Óxidos*/Oxides*	73,1	73,4	74,2	0,569	70,8	71	71,25	0,225

Los resultados de la caracterización demuestran que la reactividad de las diferentes muestras de cenizas obtenidas presentan diferencias significativas principalmente en función de la temperatura de calcinación, sin embargo el análisis del consumo de CaO demuestra reactividad para todas las muestras muy por encima de lo estipulado por la norma (150 g / g), los resultados mostrados en la Figura 7.1 validan el empleo de las cenizas de cuesco de palma y también la de bagazo de caña para las temperaturas de calcinación especificadas. De igual modo los resultados de TG practicados a la ceniza de cuesco de palma (3.68% pérdida de peso por ignición) y ceniza de bagazo de caña (4.5 % pérdida de peso por ignición) lo cual es un índice de que el material está bien combustionado.

En los resultados de los análisis realizados por Difracción de Rayos X (DRX) a ambas cenizas, se evidenció la presencia de componentes como los feldespatos y el cuarzo. Según la ASTM C 618-92<sup>a</sup> la ceniza empleada clasifica como una puzolana de tipo F (MASSAZZA 1998; Minke 2001) por contener más de 70% de los óxidos principales Si O<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y una pérdida por ignición inferior de 6%.

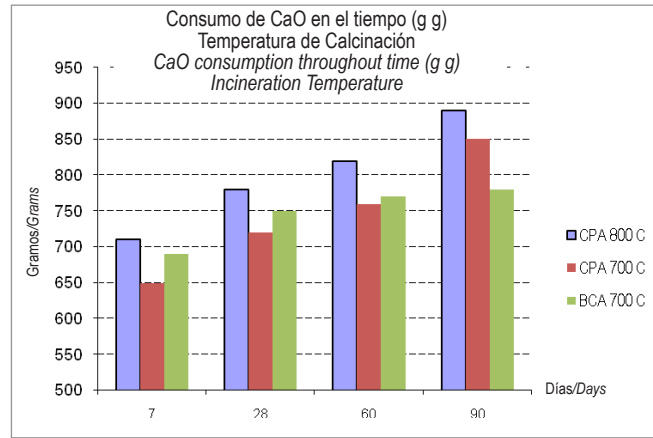
*The characterization results demonstrate that different obtained ash samples show significant differences, mainly in accordance with the incineration temperature. However, the CaO consumption analysis demonstrates that the samples reactivity is quite higher than the rate provided by the regulation (150 g / g). The results shown on Figure 7.1 validate the use of African palm shells and sugarcane bagasse at the specified incineration temperatures. Similarly, the results of TG applied on palm shell ashes (3.68% of weigh loss per ignition) and sugarcane bagasse ashes (4.5% of weigh loss per ignition) indicate that material is properly incinerated.*

*The results of analysis developed on both ashes by means of X-ray diffraction (XRD) proved the presence of components such as feldspar and quartz. In accordance with the ASTM C 618-92<sup>a</sup> the ash employed is classified as a pozzolan type F (MASSAZZA 1998; Minke 2001), as it contains more than 70% of main oxides Si O<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and; a loss per ignition lower than 6%.*



**Figura 7.** Determinación de la reactividad puzolánica de cenizas de CPA y BCA obtenidos en diferentes condiciones de incineración

**Figure 7.** Determination of pozzolanic reactivity for CPA and BCA ashes, obtained from different incineration conditions



**Figura 7.1.** Condiciones de mayor consumo de CaO  
**Figure 7.1.** Conditions of higher consumption of CaO

### 2.2.2. Determinación de la mezcla suelo estabilizador. Diseño de Experimento:

La literatura consultada refiere la realización de estudios con el bagazo de caña y el cuesco de la palma africana los que han sido utilizados como combustible en las calderas para aprovechar su poder calorífico. En determinadas condiciones de combustión las cenizas provenientes de diferentes fuentes de biomasa adquieren propiedades puzolánicas. A nivel internacional cenizas de cáscara de arroz han sido ensayadas mecánicamente con resultados óptimos en la resistencia a la compresión, con adiciones de hasta el 10% de ceniza con respecto al peso del suelo. (Alexander, 2010; Machado, 2011; Alexandria, 2008 #Bussoliti, 2009).

Los factores considerados para la determinación de la mezcla suelo estabilizador, a partir de las características del suelo de la región de Uige y los estabilizadores propuestos, fueron delimitados de la siguiente manera: los porcentajes de ceniza tanto de cuesco de palma africana como de ceniza de bagazo de caña se trabajaron en 3 niveles: 4%, 5% y 6%; los porcentajes de cal se delimitaron en 3 niveles: 2%, 3% y 5%. Adicionalmente se elaboró un patrón de estudio con 0% de adición, en la Tabla 5 se presenta la matriz derivada del diseño experimental con un total de 18 mezclas diferentes evaluadas.

Es de destacar que se trabaja con las cenizas que según el proceso de incineración poseen mejores propiedades puzolánicas, en este caso las cenizas de cuesco de palma africana incineradas a 800 °C (CPA-8) y la ceniza de bagazo de caña incinerada a 700 °C (CBC – 7)

Las variables respuesta que se evaluaron son: Resistencia a Compresión y Densidad para el caso del estudio de las propiedades físico – mecánicas. Para el estudio de la durabilidad se realizaron los ensayos de Absorción capilar.

Como acción previa e imprescindible, se hizo necesaria la elaboración de las diferentes mezclas, según la dosificación de cada caso. Para lograr esta materia prima se agregó agua al suelo y se dejó en reposo por 24 horas con el fin de que el agua añadida se incorporara completamente al componente arcilloso del mismo.

### 2.2.2. Determination of the soil stabilizer mixture. Experimental Design:

Reviewed bibliography refers to the studies conducted on sugarcane bagasse and African palm shell, which have been employed in boilers as combustion materials, to take advantage of their heating capacity. Under specific conditions, the ashes of different biomass sources acquire pozzolanic properties. Rice husks have been mechanically tested worldwide showing optimal results regarding compression resistance, by adding up to 10% of ashes in relation to the soil weight (Alexander, 2010; Machado, 2011; Alexandria, 2008 # Bussoliti, 2009).

The factors considered for the determination of the soil stabilizer mixture, based on the soil characteristics of Uige region and on the proposed stabilizers, were delimited as follows. The ashes percentages of sugarcane bagasse and African palm shells were worked out at three levels: 2%, 3% and 5%. Additionally, a pattern study was elaborated including 0% addition. Table 5 presents the matrix derivative of the experimental design, including a total of 18 mixtures differently evaluated.

It is important to highlight that the ashes showing the best pozzolanic properties, according to the incineration process, are tested. In this case the African palm shell ashes incinerated at 800 °C (CPA-8) and sugarcane bagasse ashes incinerated at 700 °C (CBC – 7).

The evaluated response variables are: Compression Resistance and Density for the case of physical-mechanical properties. For durability study, capillary absorption tests were conducted.

As preliminary and essential action, it was necessary to elaborate different mixtures, in accordance with dosage purposes for each case. In order to achieve the raw material, water was poured into the soil and left standing still during 24 hours, so that the poured water was completely integrated to the clay component of the soil.

**Tabla 5.** Diseño experimental**Table 5.** Experimental design

Estabilización con aglomerante CAL - PUZOLANA <i>Stabilization of soil using binder LIME - POZZOLAN</i>				
Dosificación gravimétrica/ <i>Gravimetric Dosage</i>				
Niveles/ <i>Levels</i>				
Variables	Patrón/ <i>Pattern</i>	Bajo/ <i>Low</i>	Medio/ <i>Medium</i>	Alto/ <i>High</i>
Cal	0	2%	3%	5%
CPA - 8	0	4%	5%	6%
CBA - 7	0	4%	5%	6%

**Tabla 5.1.** Matriz derivada del diseño de experimento**Table 5.1.** Matrix derivative of the experimental design.

Descripción/ <i>Description</i>	Suelo/ <i>Soil</i>	Cal/ <i>Lime</i>	CPA	CBC
Mezcla/ <i>Mixture 0</i>	100%			
Mezcla/ <i>Mixture 1</i>	98%	2%		
Mezcla/ <i>Mixture 2</i>	97%	3%		
Mezcla/ <i>Mixture 3</i>	95%	5%		
Mezcla/ <i>Mixture 4</i>	96%		4%	
Mezcla/ <i>Mixture 5</i>	95%		5%	
Mezcla/ <i>Mixture 6</i>	94%		6%	
Mezcla/ <i>Mixture 7</i>	96%			4%
Mezcla/ <i>Mixture 8</i>	95%			5%
Mezcla/ <i>Mixture 9</i>	94%			6%
Mezcla/ <i>Mixture 10</i>	94%	2%	4%	
Mezcla/ <i>Mixture 11</i>	92%	3%	5%	
Mezcla/ <i>Mixture 12</i>	89%	5%	6%	
Mezcla/ <i>Mixture 13</i>	94%	2%		4%
Mezcla/ <i>Mixture 14</i>	92%	3%		5%
Mezcla/ <i>Mixture 15</i>	89%	5%		6%
Mezcla/ <i>Mixture 16</i>	90%	2%	4%	4%
Mezcla/ <i>Mixture 17</i>	87%	3%	5%	5%
Mezcla/ <i>Mixture 18</i>	82%	5%	6%	6%

Esta masa inicial se dejó reposar durante el tiempo mencionado en un "cuarto húmedo", espacio con una alta humedad relativa (aproximadamente 95 %), con la finalidad de que no perdiera agua durante este tiempo. Posteriormente se amasó este suelo húmedo y se le agregó el estabilizador del caso.

Para la elaboración de las probetas se procedió de la siguiente forma: se rellenaron los moldes por capas, compactando la mezcla hasta el llenado total del molde. Posteriormente se ejecutó el enrasado de la mezcla y se retiró el molde, procediendo al secado de las probetas, a la sombra durante 21 días.

*This preliminary mass was left standing still during the above mentioned period in a "humid chamber", which had a high relative humidity (approximately 95%), so that the mass would not loose water during such period. Afterwards, this wet soil was amassed and the chosen stabilizer was added.*

*For the elaboration of specimens the following actions took place. Specimens were filled up layer per layer, downsizing the mixture until covering the whole specimen. Later the mixture was flashed and removed from the mould to proceed with specimens drying process, under shade during 21 days.*

### 3. Análisis de los resultados

Una vez que cada serie fue trabajada según lo ensayos referidos anteriormente, se calculó la media de cada una de ellas, la desviación estándar, varianza, entre otros estadígrafos. Luego se realizó el análisis de tendencia (Gráficos de Tendencia) para cada una de las variables de respuesta (para los valores medios de cada uno de los resultados) y sus combinaciones. Por último, se aplicaron pruebas de hipótesis con vistas a evaluar la significación de los resultados.

#### Resistencia a Compresión y Densidad

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión para el caso de las probetas fabricadas con las mezclas de la 1 a la 15 mostraron resultados desfavorables no cumpliendo con los requisitos establecidos de al menos 1.00 Mpa de resistencia para los elementos de adobe estabilizado, como se muestra en la Figura 8 (Saroza, 2005 ; Houben, 1994). Por lo que se procedió a desecharlos y solo trabajar con las mezclas que mostraron un comportamiento favorable (Mezclas 0, 16, 17,18).

### 3. Analysis of results

Once each series was worked out, in accordance with tests previously mentioned, an average was calculated for each one of them. Standard variation and variance were also calculated, among other statistical results. Trend analysis was then performed (Trend Graphs) for each response variable (average values of each result) and its corresponding combinations. At last, hypothetical tests were applied in order to evaluate the results significance.

#### Compression resistance and Density

The results obtained from compression resistance tests, for the case of specimens elaborated from mixtures 1 to 15 showed unfavorable results. They did not fulfill the minimum requisite of 1.00 Mpa resistances, for adobe stabilized elements, as shown on Figure 8 (Saroza, 2005; Houben, 1994). Therefore, they were disregarded and the study only included mixtures showing a favorable behavior (Mixtures 0, 16, 17 and 18).

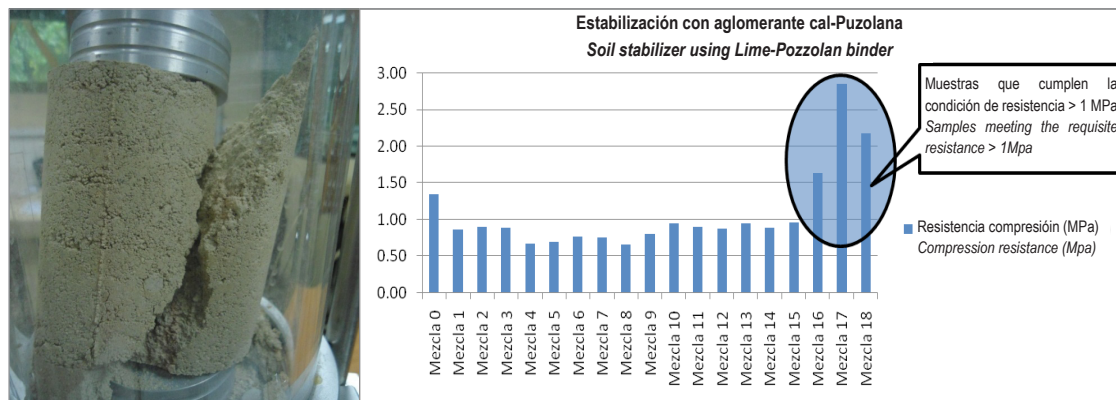


Figura 8. Resultados del ensayo a compresión

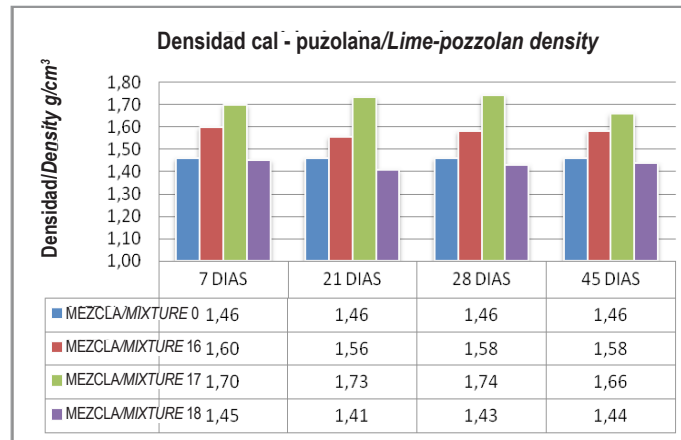
Figure 8. Results from compression test

Nótese en la Figura que los valores más altos de resistencia se obtienen para la mezcla denominada como Mezcla 17, verificándose además que esta tendencia se mantiene en los valores observados de resistencia en los periodos de 7, 21 y 28 días por lo que con respecto a este parámetro es de considerar esta mezcla para obtener los mejores resultados en su aplicación práctica, se evidencia que la combinación de un 10 por ciento del material puzolánico (5 % CBC + 5% CPA) resulta la de mejores resultados,

Los resultados de la determinación de la densidad se observan en la Figura 9, siendo consistentes con los del ensayo de resistencia a la compresión, el aumento de la densidad y de la resistencia con el transcurso del tiempo se explica por la función aglomerante que realiza el estabilizador cal – puzolana reforzando el papel de la arcilla aglutinando las partículas de suelo, lo que se refleja precisamente en el aumento de la densidad y la resistencia de las muestras.

From the Figure, please notice that the highest values were the ones obtained for compression resistance on the so-called mixture 17, thus proving that this trend is kept by the compression resistance values during the periods of 7, 21 and 28 days. Therefore, regarding such parameter, this mixture is to be considered so as to obtain the best practical application results. Then, it is proven that the mixture of 10% pozzolanic material (5 % CBC + 5% CPA) is the one providing best results.

Density determination results are presented by Figure 9, which are in line with the compression resistance test. The increase of density and compression resistance throughout time is explained by the function performed by the lime-pozzolan stabilizer binder, thus reinforcing the role played by clay agglutinating soil particles, which is precisely reflected by the density increase and the samples resistances.



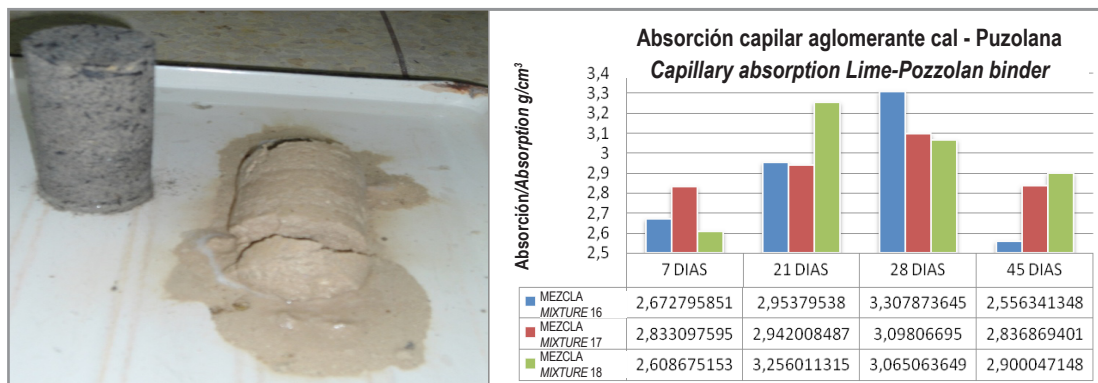
**Figura 9.** Gráfico de tendencia. Determinación de la densidad promedio de las muestras  
**Figure 9.** Trend graph. Determination of the samples average density

### Ensayo de Absorción capilar

Para el caso de las especímenes fabricados como muestra control (Muestra 0) al culminar el ensayo las mismas se desintegraron debido a ablandamiento de las muestras, como se observa en la Figura 10. Se evidencia que los deterioros observados en las viviendas de Uige pueden deberse a la no existencia de medidas efectivas para evitar las afectaciones que produce la humedad, teniendo en cuenta que no existe tradición en la región del empleo de estabilizadores para el suelo.

### Capillary absorption test

Specimens elaborated as control sample (Sample 0) were disintegrated at the end of the test, due to the samples softening, as observed on Figure 10. It is concluded that deterioration suffered by Uige's houses can be provoked due to the lack of effective measures against humidity affectations, considering there is no tradition related to the use of soil stabilization in that region.



**Figura 10.** (Derecha) Muestra patrón sin adición de estabilizador totalmente afectada. (Izquierda) Resultados de resistencia a la adsorción capilar de las muestras de suelo estabilizado con las mezclas propuestas

**Figure 10.** (Right) Pattern sample without stabilizer addition, completely damaged. (Left) Capillary absorption results from stabilized soil samples, including proposed mixtures

Los resultados con respecto a la adsorción capilar son consistentes con los reportes de la literatura (Saroza 2006, Minke 2000, Maldonado 2001) y con los resultados anteriormente expuestos en este trabajo. La adsorción capilar aumenta en el transcurso del tiempo observando los valores máximos entre los 21 y 28 días de expuestas las muestras al ensayo, teniendo la mezcla 17 un menor valor relativo de adsorción lo que está relacionado con su mayor densidad que contribuye a evitar el transporte de la humedad a través de los poros capilares o interconectados.

The capillary absorption results are in accordance with literature reports (Saroza 2006, Minke 2000, Maldonado 2001) and with the results previously described by this study. Capillary absorption rate increases throughout time, showing maximum values between 21 and 28 days of exposure. Mixture 17 has a relative lower absorption value, which is related to its higher density contributing to avoid humidity penetration into the capillary pores or their interconnections.



## 4. Conclusiones

- La caracterización de la zona de estudio con respecto a los diferentes descriptores considerados evidencian las razones del generalizado uso del suelo como material de construcción, sin embargo el estado no aceptable de la mayoría de las viviendas del fondo habitacional refleja problemas con los materiales y los procedimientos constructivos, lo cual está asociado a la situación económica preponderante.
- La incineración de fuentes locales de biomasa, como el bagazo de caña y especialmente el cuesco de palma africana, a la vez que permite reciclar productos de desecho de la industria, proporciona componentes con reactividad puzolánica que actúan de conjunto con la cal y ayudan a las partículas cementantes que forman las mezclas de suelo – cal – puzolana, mejorando las propiedades del material.
- En el caso del suelo estudiado la mejor mezcla es proporcionada por la combinación de hasta un 10 por ciento de puzolana (5% CPA + 5% CBC) con cal (3%), la cual presenta adecuados valores de resistencia, densidad y adsorción capilar.

## 5. Agradecimientos

Debemos agradecer por su colaboración a las siguientes instituciones:

ISPJAE. Instituto Superior José A. Echeverría. La Habana. Cuba.

IET. Instituto Eduardo Torrojas. Madrid, España.

ENIA. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. La Habana. Cuba.

Ministerio de la Construcción y Urbanismo. Luanda, Angola.

## 4. Conclusions

- *The characterization of the area under study, considering diverse descriptors, proves the generalized use of soil as construction material. However, the non-acceptable conditions of most housings stock, reflects there is a material problem and constructive procedures are not adequate, mainly because of the prevailing economical situation.*
- *The incineration of local biomass sources, such as sugarcane bagasse and specially the African palm shell, which in turn allows recycling industrial waste materials, provides pozzolanic reactive components. They act together with lime on cementing particles that made up the mixtures soil-lime-pozzolan, thus improving the properties of this material.*
- *In the case of the soil under study, the mixture provided by the combination of pozzolan up to 10% (5% CPA + 5% CBC) and lime (3%) is the one that shows the best values of resistance, density and capillary absorption.*

## 5. Acknowledgements

*Authors wish to thank the following institutions for their contribution to this research:*

*ISPJAE. José A. Echeverría's Higher Institute. La Habana, Cuba.*

*IET. Eduardo Torrojas's Institute. Madrid, Spain.*

*ENIA. National Applied Research Company. La Habana, Cuba.*

*Ministry of Construction and Urban Planning. Luanda, Angola.*

## 6. Referencias/References

**Alexander G. W. Klose; Sonia Rincon (2010)**, Carbon activado de cuesco de palma africana. Estudio de termogravimetría y estructura. Instituto de ingeniería termica, Universidad de Kassel, Alemania.

**Angola A. G. D. (2008)**, Atlas geografico de angola

**Carrera C. y. C. d. a. (1998)**, "Trabajos prácticos de geografía humana". Madrid, E.

**Day R. M. J. F. y Middendorf B. (2000)**, Use of agricultural wastes for the production of building materials and energy. ENERGEX 2000, Proc. of the 8th International Energy Forum. Las Vegas. USA.

**De Sensi B. (2003)**, "Terracruda, la diffusione dell'architettura di terra (soil, dissemination of earth architecture)". 2006, from [www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm](http://www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm).

**FAO (2010)**, "Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación." 2010, from [http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)

**Ferreira S. y Silva A. (2009)**, "Estudo das propriedades mecânicas de adobe com adição de fibras vegetais do coco verde. Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção – ENARC 2009. Feira de Santana, 08 a 10 jul..".

**Gomes C., Cavalcante S., Farias T., Queiroz (2009)**, "Determinação da granulometria. Ensaio de Mecânica dos Solos. Fortaleza-CE, 2003, cap. 4, p. 15-24."

**Guinea M. (1987)**, "La tierra, material resistente al agua", tomado de "La Tierra. Material de construcción". Instituto Eduardo Torroja. Equipo VMBC. Madrid. España Monografía(No. 385/386): p25-30.

**Higueras. A. M. (2003)**, "Teoría y método de la geografía. Introducción al análisis geográfico regional".

**Ladeiro R. (1994)**, "Os ambós de Angola antes da independéncia". Universidade técnica de Lisboa, Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Lisboa: pp 45-53; 123-136.

**Lamure C. (1980)**, Adaptación de la vivienda a la vida familiar. Barcelona

**Lopes C., Candongueiros & Kupapa (2011)**, Acumulacao, Risco e Sobrevivencia na economia informal em Angola. Portugal.

- Machado I. (2011)**, Transformacion Pozzolonica del residuo de la combustion del conglomerado material arcilloso + Biomasa lignocelulosa. Departamento de Ingenieria Civil, Facultad de Construcciones. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Martirena J. F, M. B. D. R. M. G. R. P. M. L. B. S. (2006)**, "Rudimentary, low tech incinerators as a means to produce reactive pozzolan out of sugar cane straw." *Cement and Concrete Research* 36: 1056–1061
- MASSAZZA, F. e. (1998)**, "Pozzolana and Pozzolanic Cements: Chapter 10. in." "Lea's Chemistry of Cement and Concrete".
- Minke G. (2001)**, Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. U. d. Kasell. Alemania.
- Morales R. y Rafael T. (1993)**, Manual para la contruccion de viviendas de Adobe. Lima, Peru.
- NC 54190:00 (2000)**, "Oficina Nacional de Normalización, Standard test method for the evaluation of pozzolan admixtures by lime consumption. Cuba : s.n., 2000".
- Pons G. (2000)**, "Adobe: La tierra como material de construcción. Tendencias recientes de la construcción con tierra." 2010, from [www.ecosur.org/index.php](http://www.ecosur.org/index.php).
- Pons G. (2001)**, "Comentarios sobre las casas de adobe" from [www.ecosur.org/index.php](http://www.ecosur.org/index.php).
- Redinha (1964)**, A habitacao tradicional em Angola. Edicao do Centro de informacao e Turismo de Angola.
- Romero M. (1990)**, "Tradiciones de Arquitectura de tierra en Nuevo México". ." 2007, from [www.aragob.es/edycot/patrimonio/etno/pastoril/portada](http://www.aragob.es/edycot/patrimonio/etno/pastoril/portada).
- Sánchez C. (2007)**, "La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas" Revista de estudios sobre patrimonio cultural - Journal of Cultural Heritage Studies 20(Nº. 2): pags. 242-255.
- Saroza B. (2000)**, "Experiencias de la estabilización del adobe con cal, asfalto, cemento y miel de caña". 4to. Simposio Internacional de Est. Geotecnia y Mat. Const. Santa Clara, Cuba.
- Saroza B. y Rodríguez M. (2006)**, "Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba." Revista Materiales de construcción. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España 56, No 282.
- Sosa M. (1994)**, "Utilización de materias primas vegetales para la producción de materiales de construcción: análisis críticos. Trabajo especial (agregado), Facultad de Venezuela, p.11."
- Universidade Católica A. (2011)**, "Relatório social de Angola." Centro de Estudos e Investigacao Científica.
- Viñuales G. (2007)**, "Tecnología y construcción con tierra". ." Journal of Cultural Heritage Studies Nº. 2.; pags. 220-231.