

## Las Construcciones en Tierra en Ecuador. Innovaciones Tecnológicas

El autor propone el uso de materiales de construcción orgánicos y locales para solventar el agudo problema habitacional por el que su país pasa, en el que los costos operativos y de materiales para llevar a cabo construcciones formales de viviendas tienen una tasa de inflación del 150% anual, y un financiamiento habitacional con un interés muy alto. En este sentido expone métodos innovadores para el uso del Tapial, Adobe y Bahareque, demostrando que su costo es mucho menor pero que exige de parte del arquitecto redefinir su criterio en cuanto al diseño arquitectónico adaptándolo a las nuevas normas de construcción que estos materiales poseen..

### **A**ntecedentes: Realidad Ecuatoriana

En el Ecuador, el 57 por ciento de las viviendas son de ladrillo y cemento; y, el resto, de materiales alternativos como bloque, caña guadúa, adobe, tapial, bahareque, pared de mano y otros.

La mayor parte de las primeras han sido construidas con la asistencia técnica de profesionales, mientras que las segundas, casi en su totalidad, con la iniciativa y el trabajo de sus propietarios, cuya característica fundamental es pertenecer a sectores de población de ingresos bajos, ubicados en áreas urbano marginales y rurales.

En el marco de desarrollo vigente en el Ecuador, la población rural se ha desplazado a los centros urbanos en busca de oportunidades de trabajo, registrándose en el último censo de población y vivienda (1990) una mayor proporción de la población urbana en el total nacional (60 %)

Este hecho, junto a la ausencia de respuesta del Estado Ecuatoriano, ha conducido a que el déficit de vivienda urbano-marginal se agrave y se agudice, especialmente frente a una sostenida elevación de los costos de construcción de viviendas con materiales convencionales y la administración del Estado.

La tasa de inflación de los bienes y servicios de consumo básico, en los últimos tres años, bordea el 50 por ciento anual, mientras que la de los materiales de la construcción, cuyos insumos de fabricación son importados, con frecuencia rebasan el 150 por ciento. En su evolución inciden las minidevaluaciones diarias del tipo de cambio y los ajustes periódicos de precios que realizan los establecimientos industriales fabricantes de dichos materiales.

A estos costos se agrega la alta tasa de interés que afecta los costos de operación de proyectos de construcción de viviendas, financiados por la banca privada o préstamos externos.

Los honorarios profesionales, igual que en otras partes, se cobran en base a un arancel y, en consecuencia, es proporcional al costo total de la vivienda (16 por ciento).

La demanda de viviendas, por su parte, depende directamente de la capacidad de pago del propietario, cuyos ingresos promedios, en 1990, bordeaban aproximadamente los 60 dólares mensuales, siendo el salario mínimo vital legal, vigente, equivalente a menos de 50 dólares mensuales.

La situación expuesta conlleva a buscar con urgencia alternativas baratas de solución habitacional, que contemplen la capacitación de los sectores urbano marginales y rurales, a fin de que tiendan a mejorar la calidad y seguridad de construcción de sus viviendas. Es pues, un desafío disminuir los costos de construcción sin sacrificar la calidad de la vivienda.

En esta perspectiva, cabe y se impone recuperar tecnologías propias de construcción, propiciando que el mismo poblador pueda, como lo hace actualmente, construir su casa, mejorando la calidad, respecto de las que existen.

La construcción en tierra es una de las alternativas. No obstante, su aplicación presenta dificultades de distinto orden, que cabe precisarlas. La tierra es un material que no da "status", salvo que se logre poner de moda en la clase media alta y alta; el tapial y el adobe consumen mucho área de terreno, el bahareque tiene el inconveniente del alto consumo de madera. De otra parte, para llevar adelante programas con materiales, como la tierra, se requiere tener presente otros elementos que demandan esfuerzos adicionales, como son: la tenencia de la tierra, la especulación del suelo, la reforestación con especies maderables y de rápido crecimiento, el cambio de ordenanzas municipales, etc.

En síntesis la utilización de la tierra demanda capacidad técnica y una dosis adicional de ingenio para allanar esas dificultades. Es importante continuar con la investigación y aplicación de las tecnologías alternativas y del uso de la tierra, de manera que las antiguas tecnologías sean innovadas y "vendidas" en el mercado actual.

## 2. Innovación Tecnológica

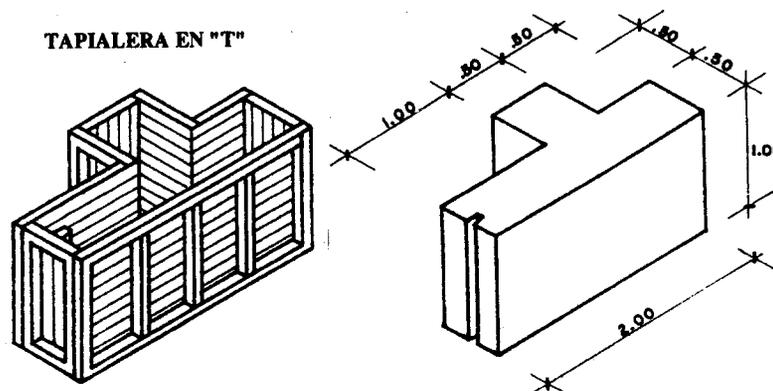
La innovación tecnológica se ha asumido como un proceso de investigación y explicación técnico-científica de las tecnologías autóctonas o antiguas, las que una vez conocidas son "mejoradas" con conceptos y criterios que la técnica actual permite.

En otros términos, se investiga y estudia la tecnología tradicional, se la analiza científicamente, se aportan e incorporan nuevos elementos técnicos que se consideran necesarios, con el propósito central de reivindicar las técnicas usadas desde tiempos remotos; y, previa sustentación científica-académica se obtiene una tecnología constructiva recuperada y remosada, de cara a las necesidades y requerimientos técnicos actuales.

Para construir con tierra, de acuerdo a la zona, urbana o rural, es necesario la adaptación e incorporación de nuevos materiales que permitan una mejor respuesta de carácter técnico y económico, sin perjudicar el criterio de utilización de una tecnología tradicional.

En la utilización de la tierra como material básico de la construcción es importante definir un nuevo criterio de diseño arquitectónico, en el que el estudio de la concepción modular de las construcciones antiguas, es imprescindible. El arquitecto debe adaptar sus diseños a nuevas normas de construcción y ajustarse a las necesidades formales y funcionales del usuario actual.

TAPIALERA EN "T"



### 3. La construcción con tierra en Ecuador

En el caso del Ecuador, la utilización de la construcción en tierra por parte del Estado y de instituciones financieras nacionales e internacionales se impulsó a partir del año 1987, año en el que se produjeron sismos que afectaron de manera sensible a las zonas rurales, cercanas a Quito.

Hasta esa fecha, en el Ecuador, las experiencias en construcción con tierra eran de contadas personas e instituciones; los mayores avances en el campo de la investigación teórica y experimental se llevaban adelante por parte de algunos técnicos de organizaciones no gubernamentales.

Con la participación directa de las Organizaciones no Gubernamentales se reconstruyeron en un año aproximadamente 7.000 viviendas, que representaban el 90% de las reconstruidas, con costos de aproximadamente \$ 100 US por vivienda de 54 m<sup>2</sup>.

El sismo nos puso a disposición un gran laboratorio que permitió confirmar varias hipótesis y reformular otras. Con la participación de las Universidades Católica y Politécnica del Ecuador, en varias oportunidades, integramos equipos combinados de profesionales para estudiar, especialmente, refuerzos de viviendas que tenían daños importantes.

La experiencia fue provechosa, ya que las Organizaciones no Gubernamentales, al haber reconstruido el 90% de las viviendas destruidas en la Sierra, impulsaron una buena coordinación entre las instituciones participantes, especialmente, tendiente a unificar criterios de manejo técnico en la construcción en tierra y social en las comunidades.

Se dictaron talleres teórico-prácticos dirigidos a indígenas y a campesinos así como a técnicos de instituciones públicas y privadas, quienes a su vez capacitaron a los "constructores" en su zona de intervención.

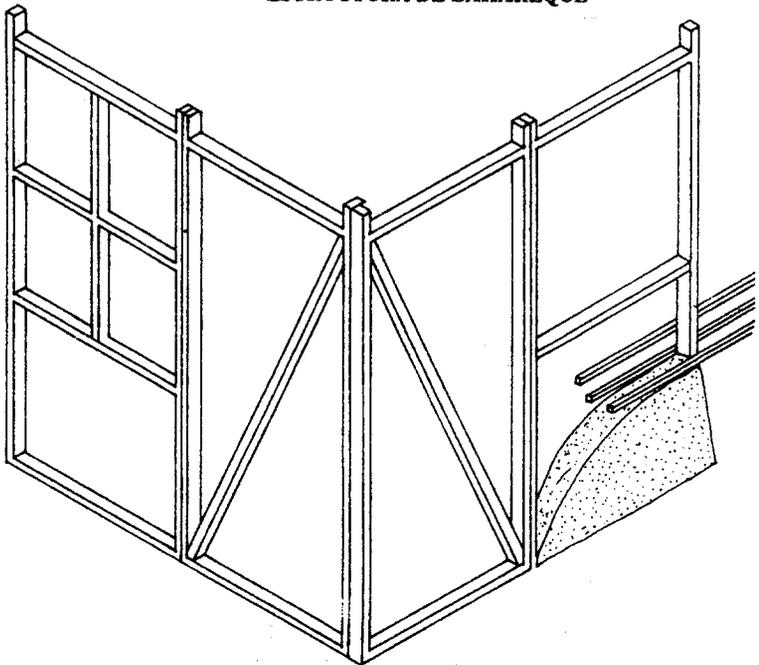
Al investigar el estado de las construcciones y las causas que provocaron el colapso de las viviendas se pudo determinar que **los errores constructivos más frecuentes eran los siguientes:**

- Falta de cimientos;
- Erosión de las paredes de tierra;
- Mala selección de tierra para la tecnología a aplicarse;
- Falta de trabe en los adobes y adobones;
- Mezcla de materiales;
- Cubiertas mal ancladas a las paredes (ausencia de soleras);
- Cubiertas muy pesadas y mal diseñadas.

Estos errores, previa explicación y observación directa de los elementos fallados, fueron comprendidos fácilmente por el usuario, quién progresivamente iba recobrando confianza en la utilización de la tierra como material básico para la construcción de su nueva vivienda.

En los cursos se construyeron los primeros prototipos que fueron aceptados -previa discusión-, por el futuro usuario y las instituciones financieras, en especial.

ESTRUCTURA DE BAHAREQUE



#### 4. Innovaciones técnicas específicas

Las innovaciones técnicas que se plantearon en la reconstrucción de las viviendas colapsadas fueron variadas y pueden ser resumidas por tecnologías de la siguiente manera:

**4.1 En Tapial.-** Se calcularon y diseñaron cimientos de mampostería de piedra donde ésta existía; o, de suelo cemento con "cangagua" en reemplazo de la piedra. Los cimientos eran corridos y con dimensiones de 0.60 m. de altura y 0.60 m. de ancho.

Luego de construídas varias viviendas, se optó por realizar la cimentación en forma de capas sucesivas de 10 cm. cada una, alternando piedra y suelo-cemento debidamente compactados y rematando los 20 cm. superiores con piedra, la que sobresalía del nivel natural del terreno y serviría de protección contra el golpeo de la agua lluvia y la consecuente erosión de la base.

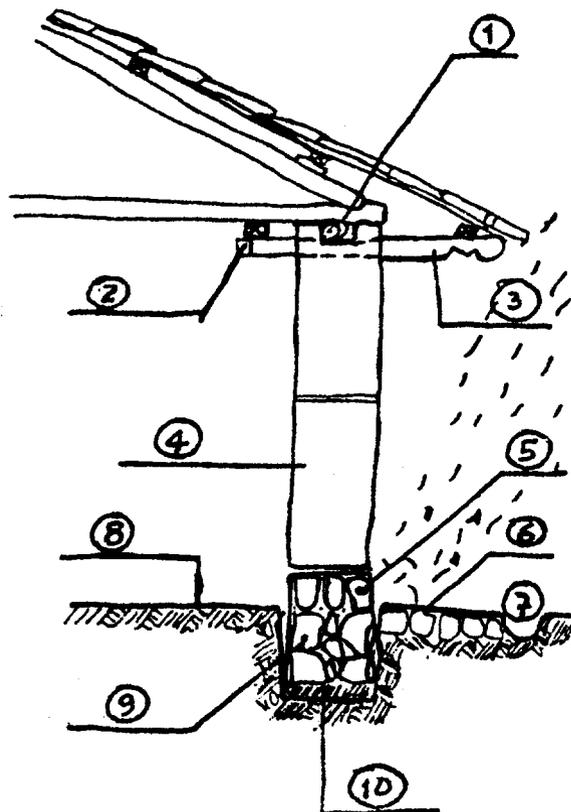
En el anclaje de la pared con el cimiento empezamos por utilizar elementos de madera de aproximadamente 4,00 cm., éstos dieron buen resultado y aumentaban la resistencia al corte, pero, el anclaje debía ser cuidadosamente recubierto e impermeabilizado, de manera que, al fundir el tapial no absorviera humedad, ya que al hincharse rompía la pared.

Esta forma de trabajo vimos que era poco práctica y su réplica difícil para las futuras construcciones que no cuenten con asistencia técnica, por esta razón, cambiamos a lo que recomienda la Universidad Católica de Lima, la utilización de un rayado cada 20 cm. aproximadamente, de 3 cm. de profundidad y a 45°, en los dos sentidos; esta modalidad de trabajo tenía mejor posibilidad de réplica y así se comprobó en obras que independientemente llevaron adelante las comunidades.

Para el tapial optamos por trabajar con suelos cuya granulometría debía tener de un 60 a un 75% de arena y, el resto, granos finos entre limos y arcillas. La prueba de la decantación del suelo en la botella con agua fue la que se generalizó para la clasificación de los suelos, los triángulos granulométricos eran usados con mucha frecuencia.

#### RESUMEN DE RECOMENDACIONES

- 1.- Usar solera
- 2.- Contrapesar los canchillos
- 3.- Aleros de 50 a 60 cm.
- 4.- Adobones de menor tamaño
- 5.- Sobrecimiento
- 6.- Vereda perimetral
- 7.- Canal recolector de agua lluvia
- 8.- Piso de suelo cemento
- 9.- Cimientos
- 10.- replantillo de suelo cemento



El contenido de humedad se midió de forma similar a la que los indígenas lo hacían siempre, tomaban un poco de suelo húmedo y lo comprimían formando un puño con la mano, si el suelo se escurría entre los dedos, había mucha agua, si se resquebrajaba o desgranaba, había poca agua; y, si se formaba el puño, el suelo tenía la humedad requerida.

Para la compactación se usaron las recomendaciones mexicanas, es decir, se fabricaron pisones que tenían un peso de 140 gr. por cm<sup>2</sup> de área real de compactación. Así, si teníamos cabezas de pisones de 10 cm. x 10 cm. se requerían elementos con un peso de 14 kg., muy manejables e incluso más livianos que los que estaban acostumbrados a usar. Las capas de compactación se realizaron cada 15 cm. de tierra suelta y se golpeaba la tierra hasta que ésta emita un sonido casi metálico, a una mejor clasificación y calidad del suelo, el sonido era más cercano a uno metálico.

Las esquinas y encuentros de paredes se hicieron monolíticos y para este fin se diseñaron tapialeras o moldes de madera en forma de L para las esquinas y de T para los encuentros.

Cada moldeada de tierra daba como resultado un adobón de 2,00 m. de longitud, 1,00 m. de altura y 0,50 m. de espesor; por esta razón, debíamos construir dos hiladas trabadas a medio adobón con un machihembrado vertical, que daba mayor resistencia a la flexión.

En tramos mayores a 8 veces el espesor se colocaban contrafuertes exteriores que apoyaban al tapial y reducían su flexión y por lo tanto el corte en las esquinas.

En la cabeza del muro se colocaron soleras o vigas de madera, debidamente ancladas y que permitían tener un elemento para dar continuidad entre la cubierta y el tapial.

Los dinteles de puertas y ventanas fueron diseñados con las recomendaciones de la Universidad Católica de Lima, separadas 1.00 m. de las esquinas, de forma que, la longitud de espacios vacíos no sean mayores a 1/3 de la longitud libre de la pared en cuestión y que los dinteles rebasen 0.50 m. a cada lado del vano vacío.

Las puertas y ventanas se abrieron después de la fundición del muro, que era totalmente ciego, el que se fue cortando con alambre de púas -a manera de serrucho- y, posteriormente, se afinó el detalle con machete o láminas de metal.

**4.2 Adobe.**- La cimentación se construyó de una profundidad de 0.60 m. y de 0.40 m. de ancho, las características del material fueron similares a la de tapial y los anclajes se hicieron por rayado.

Se dio menor importancia a la resistencia del adobe como elemento constitutivo del muro y se insistió en mejorar la calidad del ligante o argamasa que sirve para unir cada elemento.

Esta decisión se tomó debido a la buena calidad del adobe manual que se hacía en las distintas zonas adoberas del Ecuador. Al respecto, cabe mencionar que los muros fallados se rompieron por las uniones de los adobes y no por adobe, motivo por el que cabe insistir en reforzar estas uniones; y, si bien es importante una resistencia unitaria del adobe, parece que no es determinante en el comportamiento del muro a la sollicitación del sismo.

La granulometría de los suelos que se usaron para adobe fue hacia el lado de los finos, es decir, del 40 al 60% de arena y el resto de finos. Debido a la alta presencia de granos finos y a la fisuración que se presenta, se utilizó la paja picada de cebada o de páramo. En algunos casos, usamos agujas de pinos, cáscara de carrizo, césped seco, etc. con resultados bastante buenos dadas las condiciones geográficas del trabajo y lo avanzado de la deforestación y erosión de los suelos.

De igual manera que en el tapial, se usaron contrafuertes en los tramos largos y en las esquinas y encuentros ortogonales de paredes, se colocaron contrafuertes en los dos sentidos, de esta manera, reducíamos flexión y aumentábamos resistencia al corte.

En la parte superior de la pared se remataba con soleras de madera, debidamente ancladas; y, en todos los ángulos rectos se colocaron diagonales de madera para

inmovilizar estos puntos.

Para determinar la longitud de los dinteles de puertas y ventanas al igual que la de los claros, se mantuvo el mismo criterio que en el tapial.

**4.3 Bahareque.**- Es una tecnología usada desde la época precolombina y por su superficie con muchas fisuras, actualmente, es usada por los sectores rurales de más bajos recursos económicos.

Debido a su estructura de madera tiene una gran capacidad para disipar los esfuerzos provocados por los sismos, de fácil construcción, es una construcción liviana, el espesor de las paredes es "normal" (0.12 m.), su estructura puede ser industrializada, se adapta bien a zonas urbanas, no registra inconvenientes para la construcción de dos plantas, etc., tiene muchas ventajas respecto al tapial y al adobe, aunque su costo es superior.

La cimentación fue hecha de 0.60 m. de altura y 0.20 m. de ancho, por lo tanto, fue más barata que en los casos anteriores. Los materiales usados fueron los detallados en los casos anteriores; y, se remató el cimio con tablas de eucalipto clavadas; este elemento era anclaje de la estructura de madera contra la cimentación.

Los paneles que se muestran en la figura del anexo se encuentran clavadas unas tiras de 2.5 x 2.5 cm. cada 12 cm. en las dos caras, de manera que se forma una caja, la cual es posteriormente rellena con tierra y paja.

La tierra seleccionada para el relleno era arcillosa, con un contenido del 20 al 40% de finos; por estas características, el bahareque al secarse se fisura totalmente, de ahí que para evitar este fenómeno de retracción de secado, se colocó paja picada. Con la tierra mezclada con paja se va formando esferas de aproximadamente 10 cm. de diámetro y se les va colocando entre el tiriado, primero en una cara y luego en la posterior o en las dos a la vez.

Las soleras superiores recibieron a todos los pies derechos del panel de corte, la unión se hizo mediante caja, espiga y clavo. La solera en las esquinas llevó una diagonal para reforzar su resistencia al corte.

El cálculo estructural, se realizó siguiendo el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino" desarrollado por la Junta del Acuerdo de Cartagena.

**4.4 Acabados.**- En los tres sistemas constructivos se procuró dar un acabado a las paredes, que evite se forme un sello impermeable, se hicieron acabados rugosos que permitían un flujo y reflujo de aire y humedad ambiente al interior de los muros para evitar que la tierra pierda propiedades mecánicas. Debido a una sequedad completa del material, los indígenas de los Andes Ecuatorianos dicen que "hay que dejar que la tierra respire para que no se pudra".

Para el acabado se usó una mezcla de cola plástica, leche o suero, cal hidratada y agua en proporciones de 1:2:3:4 en volumen. La primera capa se hizo con un mezcla pastosa, disminuyendo el agua y luego a manera de pintura y con brocha se dio el acabado final con la misma fórmula.

Para aquellas paredes cuya clasificación de suelo no había sido buena y la pared estaba desgranándose por el paso de la mano, se fijaba la superficie con una parte de cola blanca y diez o quince partes de agua, menor cantidad de agua a mayor erosión de la pared, esto iba "uniendo" las partículas sueltas de la superficie y luego se podía dar el acabado antes señalado.

**4.5 Costos.**- El análisis comparativo de los costos entre mampostería de bloques de cemento, de tapial, de adobe y bahareque demostró que la mampostería de tierra cruda es la más económica. En efecto, esto se aprecia en el cuadro que se presenta en el anexo, el ahorro en este rubro es relativamente importante, pero, depende, de la importancia relativa que tenga en el costo total de la construcción. En nuestro medio, en una vivienda de clase media baja los muros representan el 20 ó 25% del costo total y la cubierta del 50 al 60%.

Ante esta realidad el ahorro final por mampostería es poco representativo, aunque no despreciable, el tema de las cubiertas se transforma en un capítulo importante para ser estudiado, existiendo varios e importantes intentos en este campo, habrá que continuar investigando y buscando nuevas, económicas y fáciles formas de hacer cubiertas.

ANALISIS DE COSTOS PARA MUROS SIMILARES

CONCEPTO	CANTIDAD UNIDAD	MUROS DE				PRECIO UNITARIO	COSTO EN MUROS DE			
		BLOQUE	TAPIAL	ADOBE	BAHAREQ.		BLOQUE	TAPIAL	ADOBE	BAHAREQUE
MOVIM. DE TIERRAS										
Excavación	m3	0.76	0.96	0.74	0.48	2,112.00	1,605.12	2,027.52	1,562.88	1,013.76
Desalojos	m3	0.76				1,065.00	809.40			
CIMENTACIONES										
Mampostería de piedra	m3	0.54				24,380.00	13,165.20			
Hormigón ciclopeo	m3					35,887.00				
Terro-cemento/piedra	m3		1.44	1.1	0.72	15,805.74		22,760.27	17,386.31	11,380.13
PLINTOS										
Hormigón ciclopeo	m3	0.22				35,887.00	7,895.14			
ESTRUCTURA										
Hormigón en columnas	m3	0.09				115,823.00	10,424.07			
Hormigón en vigas	m3	0.16				114,611.00	18,337.76			
Hormigón en cadenas	m3	0.16				114,611.00	18,337.76			
Bastador de madera	U				4	3,545.45			14,181.80	
Solera inferior	m				4	900.00			3,600.00	
Solera superior	m		4	4	4	1,500.00		6,000.00	6,000.00	6,000.00
PAREDES										
De bloque	m	6.48				6,060.00	39,268.80			
De tapial	m		8			6,290.00		50,320.00		
De adobe	m			8		6,350.00			50,800.00	
De bahareque	m				8	4,300.00				34,400.00
COSTO TOTAL							109,843.25	81,107.79	75,749.19	70,575.69
COMPARACION PORCENTUAL							100.00	73.84	68.96	64.25
DIFERENCIA PORCENTUAL								26.16	31.04	35.75
Elaboración: Ing. Patricio Cevallos Salas										

En anexo se muestra un cuadro con los costos de una esquina de mampostería con su cimentación característica, su estructura y sin ningún tipo de acabados, es decir, se han considerado únicamente aquellos rubros que son distintos y por lo tanto sujetos de comparación. La mampostería tiene 1 m. a cada lado de la esquina y 2,20 m. de altura; la cimentación toda es de 0,40 m. de altura y el ancho de acuerdo a los requerimientos de cada tecnología.

#### **4.6 Elementos complementarios a la vivienda.-**

Considerando que la vivienda debe tener otros elementos que aumenten el confort, se han diseñado cocinas lorena que disminuyen la cantidad de consumo de leña y la presencia del humo al interior de las viviendas; las chimeneas han sido aprovechadas para que colocando un serpentín en su interior se caliente agua.

Otro elemento que ha tenido acogida, y esto debido a la presencia del cólera en nuestro país, es la letrina seca procesadora de compost; letrina que funciona con dos tanques de almacenamiento, alternados cada seis meses y calentados con energía solar para ayudar a la fermentación de los desechos orgánicos.

En definitiva, éstas son las experiencias que gracias al trabajo conjunto con las comunidades indígenas y técnicos ecuatorianos se han desarrollado y están en uso.

Otras innovaciones como arcos de tierra y bambú, caminos de adoquines de terro-cemento, tejas de fibrocemento, secaderos de granos con energía solar, etc., aún no han sido aceptadas en el medio, menos aún reproducidas por las comunidades; por esta razón, creemos que la experiencia no alcanza su madurez total.

Actualmente, se ha iniciado en el Ecuador la venta del cemento puzolánico, cuyo precio equivale al 35% del cemento Portland y permite una disminución en el costo de las mamposterías de ladrillo de arcilla cocida o de bloques de cemento. Esto, sin embargo, implica que el costo de las paredes de tierra se acerquen peligrosamente al de los materiales convencionales y, por lo tanto, cobra importancia la industrialización de los procesos constructivos.

De otra parte, la creciente demanda actual de vivienda en tierra hace que se empiece a plantear la necesidad de acortar tiempos de ejecución de obra; y, en el caso del tapial, se trabaja con martillos neumáticos como el Ram 30. En esta línea, el mercado de la construcción permite invertir en equipamiento y espero que en el transcurso de este año se haga una importación importante de maquinaria francesa, gracias a la ejecución de un programa de viviendas vacacionales para clase social alta que amortizaría la inversión.

### **BIBLIOGRAFIA**

**PUCP, AID, SNCPIC:** "Nuevas casas resistentes de Adobe". Cartilla de difusión N° 2. Región de la Costa. S.F. Lima, Perú.

**Eduardo Morán Buitrón:** "Uso del Terrocemento en la Construcción de Vivienda de Bajo Costo". Tesis de Grado. PUCE. Quito, Ecuador.

**Patricio Cevallos Salas:** "¿Por qué fallaron las casas de tierra?" Evaluación y Propuesta Técnica". Boletín N° 110. Cámara de la Construcción de Quito. Octubre de 1990. Quito, Ecuador.

**Patricio Cevallos Salas:** "Evaluación de los efectos del sismo en la Zona de San Pablo, Zuleta, La Merced y Pecillo". Documento de Trabajo. Mayo de 1987. Quito, Ecuador.

**Bolívar Romero:** "Informe de los efectos del sismo en Mariano Acosta". Documento de Trabajo. Mayo de 1987. Quito, Ecuador.