



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
**PIRHUA**

# PROCESO PRODUCTIVO DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA PRODUCIDOS EN LA REGIÓN PIURA

JOYCE BARRANZUELA LESCANO

Piura, febrero de 2014

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)  
[Creative Commons Atribución-](#)  
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

JOYCE ESTHER BARRANZUELA LESCANO

Asesor: Mgtr. Gaby Ruiz Petrozzi

Piura, Febrero 2014

A mis padres y hermanos por su paciencia y apoyo constante.

## **Prólogo**

La importancia que ha adquirido el ladrillo a través de su historia lo ha colocado como un material indispensable en la industria de la construcción a nivel mundial. Muchas de las construcciones de albañilería que se realizan hoy en día tienen como componente básico al ladrillo, que, en nuestro medio, es elaborado mayormente de arcilla.

La fabricación del ladrillo en Piura es una práctica habitual, generadora de puestos de trabajo, sobre todo en los sectores socioeconómicos bajos y que forman parte de la economía del país. Por estas razones, es que se han venido realizando proyectos para mejorar los procedimientos empleados por los productores ladrilleros en la elaboración de las unidades, haciendo más eficiente esta actividad. Así se esperaría que estas mejoras tengan efecto en los resultados finales garantizando un mínimo de calidad.

Es por ello que se ha querido recopilar en el presente estudio, información acerca de la producción de ladrillos en nuestra región, para poder realizar una caracterización de estas unidades y realizar una comparación con los criterios establecidos en las normas.

Este trabajo se centra en conocer la producción de ladrillos que se lleva a cabo en nuestra región, visitando las ladrilleras más importantes de la zona y recogiendo muestras de cada una de ellas para analizar sus propiedades físicas y mecánicas.

El interés en observar el proceso de producción que se lleva a cabo en cada una de ellas, permitirá que se identifiquen las posibles causas de las deficiencias que se presentan en el producto final.

Un agradecimiento especial para mi asesora Ing. Gaby Ruiz Petrozzi, por su constante e incondicional apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

## **Resumen**

El presente trabajo tiene por objetivo identificar el proceso de producción de las unidades fabricadas en el departamento de Piura y establecer algunos valores referentes de sus propiedades.

El trabajo se basó en un muestreo exploratorio con visitas a las zonas de producción más importantes en la Región Piura observando el proceso de fabricación desde la extracción de la materia prima hasta la cocción de las unidades. Para los valores referentes del producto final se tomaron muestras de las unidades elaboradas y se realizaron los ensayos que establece la Norma Peruana.

Los resultados obtenidos indicarían que no hay una mejora significativa en la calidad de las unidades en relación a lo reportado en 1995 por García Rodríguez. Al parecer, los esfuerzos aislados de mejorar el proceso de producción sin integrarlos con la materia prima sería la principal causa de este comportamiento.

## Índice General

Prólogo	I
Resumen	III
Índice General	V
Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico	3
1.1 Definición	3
1.2 Características de los ladrillos	3
1.3 Propiedades de los ladrillos	4
1.4 Clasificación de los ladrillos	5
1.5 Materia prima	5
1.5.1 Origen de la arcilla	5
1.5.2 Composición de la arcilla	6
1.5.3 Características físicas de la arcilla	7
1.5.4 Propiedades de la arcilla	8
1.5.5 Clasificación de las arcillas	10
1.5.6 Arcillas para la fabricación de ladrillos	12
1.5.7 Impurezas frecuentes y su influencia sobre las unidades de arcilla	13
1.5.8 Efectos de la calidad de la materia prima en la calidad final de las unidades	14
1.6 Procesos de producción general	18
1.6.1 Tipos de proceso de fabricación	18
1.6.2 Fabricación	18
1.6.3 Efectos del proceso de producción en la calidad final de las unidades	24
Capítulo 2: Proceso de producción en las zonas productoras de la región	27
2.1 Características de la materia prima en la región	27
2.2 Zonas productoras de la Región Piura	28
2.3 Proceso de producción en la realidad local	29
2.3.1 Zona de Marcavelica y Cerro Mocho	31
2.3.2 Zona La Unión	39
2.3.3 Zona La Encantada	40
2.3.4 Zona La Huaca	42
2.3.5 Zona Piura	44
2.4 Resumen de los procesos de producción en la región	50

Capítulo 3: Caracterización de los ladrillos en la Región Piura	53
3.1 Descripción de los ensayos	53
3.1.1 Medida de la dimensión	53
3.1.2 Medida del alabeo	53
3.1.3 Absorción	54
3.1.4 Succión	54
3.1.5 Eflorescencia	55
3.1.6 Resistencia a la compresión	55
3.2 Análisis de resultados	56
3.2.1 Medida de la dimensión	56
3.2.2 Medida del alabeo	59
3.2.3 Absorción	61
3.2.4 Succión	63
3.2.5 Eflorescencia	65
3.2.6 Resistencia a la compresión	66
Conclusiones	69
Referencias Bibliográficas	71
Anexo A: Medida de la dimensión	73
Anexo B: Medida del alabeo	80
Anexo C: Absorción	81
Anexo D: Succión	84
Anexo E: Resistencia a la compresión	86



## **Introducción**

Muchas de las construcciones en el Perú, han adoptado el ladrillo como uno de los materiales más importantes y más usados. Su aplicación no se reduce a la de un simple cerramiento, sino que cumple también una función estructural. Sin embargo el ladrillo puede llegar a cuestionarse en cuanto a sus propiedades y características dependiendo si cumple o no con los requisitos y normas establecidas.

La elaboración de estas unidades de albañilería se produce en lugares que no tienen un control industrial y sin ningún estricto control de calidad. Es por ello que se ha venido tratando de solucionar las deficiencias de producción a través de distintos proyectos de entidades preocupadas por mejorar las condiciones de producción. Podemos mencionar el “Estudio de definición de tipo de horno apropiado para el sector ladrillero”, licitado por el Programa Regional de Aire Limpio (PRAL) y el Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAM) realizado en el año 2008. También está el proyecto piloto sobre la utilización de la cascarilla de arroz como combustible, para la fabricación de ladrillos en Piura (Perú), que fue ejecutado por el Programa APGEP-SENREM, en el año 2001.

Estos proyectos de desarrollo han tenido una orientación ambiental y han logrado la mejora de aspectos del proceso productivo pero no se sabe en qué grado han logrado una mejora de la calidad de las unidades. Aunque se percibe una mejora en su aspecto externo, por la uniformidad de la unidad, no se tiene certeza sobre otros parámetros importantes como la succión, absorción y resistencia a la compresión.

Para una mejor investigación y sustentación se han incluido visitas a las ladrilleras más importantes de nuestra zona, recogiendo muestras en cada una de ellas para que sean analizadas las principales propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos, identificando las posibles causas de las deficiencias que se presentan en el producto final, sin dejar de lado las diferentes investigaciones que sobre el tema se han realizado y que han servido de mucha ayuda para complementar este trabajo citándolas en las referencias bibliográficas.

Una de estas referencias es la tesis desarrollada en 1995 por Francisco García Rodríguez que muestra la relación de las zonas ladrilleras más importantes de Piura, y evalúa las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería producidas en las distintas zonas de ese entonces, identificando los productores de ladrillos de arcilla de mejor calidad en Piura. En este trabajo sólo se pone énfasis en las propiedades de las unidades, mas no en su proceso de producción.

Para ello, se ha creído conveniente, por cuestiones metodológicas, dividir el presente trabajo en tres capítulos. En el primer capítulo se da una conceptualización general sobre el ladrillo, indicando sus características, propiedades y clasificación. El segundo capítulo se enfoca en el proceso de producción en la Región Piura. En el tercer capítulo, se muestra la caracterización de los ladrillos en el laboratorio y los resultados obtenidos.

# **Capítulo 1**

## **Marco teórico**

### **1.1 Definición**

Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

Gallegos (2005); Hendry, Sinha y Davies (1997) definen al ladrillo como el componente básico para la construcción de la albañilería y la construcción.

Schneider y Dickey (1980), Marotta (2005) y Somayaji (2001) lo definen como una pequeña unidad de arcilla quemada para albañilería, de forma rectangular.

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) denomina al ladrillo como la unidad de albañilería fabricada con arcilla, esquisto arcilloso, o sustancias terrosas similares de ocurrencia natural, conformada mediante moldeo, prensado o extrusión y sometida a un tratamiento con calor a temperaturas elevadas (quema).

El presente trabajo se refiere a las unidades prismáticas fabricadas con arcilla y sometida a cocción con aplicaciones específicas en muros de albañilería.

### **1.2 Características de los ladrillos**

El ladrillo está destinado principalmente a la construcción de muros, tabiques, suelos, etc., por lo que debe ser invulnerable a los efectos de la intemperie, y poseer suficiente resistencia a la compresión.

Del Río (1975), Moreno (1981), Somayaji (2001) y Gallegos (2005), coinciden en que un ladrillo considerado como bueno, para muros de albañilería, debe poseer las características generales siguientes: estar bien moldeado, lo que da lugar a caras planas, lados paralelos y los bordes y ángulos agudos. Ser poroso, sin exceso, para poder tomar bien el mortero, no contener sales solubles para no propiciar la eflorescencia, poseer un sonido metálico al ser golpeado con un martillo u otro objeto similar, puesto que cuando

se da este sonido es una muestra que el ladrillo está bien cocido y no tiene defectos como fisuras.

Así mismo debe contar con una geometría homogénea, compacta, luciente y exenta de caliches, no debe estar demasiado cocido ya que produciría una unidad de color violáceo o negruzco, con una estructura vitrificada y brillante, con deformaciones y grietas. Un ladrillo demasiado cocido es muy duro pero la resistencia queda anulada por las fisuras. Tampoco debe estar poco cocido o blando, pues podría desmoronarse fácilmente y daría un sonido sordo. En resumen, las características físicas del ladrillo son que debe tener una buena cocción, un color uniforme, un sonido claro y seco al ser golpeado.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.070 Albañilería) manifiesta que el ladrillo no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea. Además el ladrillo estará bien cocido, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. No tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras o grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad y/o resistencia. No tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

Según la NTP 331.017, los ladrillos estarán libres de defectos, deficiencias y tratamientos superficiales, incluyendo recubrimientos, que pudieran interferir con la adecuada colocación del ladrillo o perjudicar significativamente la resistencia o el desempeño de la construcción.

### **1.3 Propiedades de los ladrillos**

Las propiedades principales de las unidades de albañilería deben entenderse en su relación con el producto terminado, que es la albañilería.

Se pueden dividir en dos categorías mayores:

#### **1.3.1 Propiedades físicas relacionadas a la estética del material:**

- Color: Depende de su composición química de la materia prima y de la intensidad del quemado. De todos los óxidos comúnmente encontrados en las arcillas, el hierro tiene el mayor efecto sobre el color.
- Textura: Es el efecto en la superficie o la apariencia que presenta la unidad como resultado de la forma de elaboración (Somayaji, 2001).

#### **1.3.2 Propiedades ingenieriles:**

Algunas propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcillas son las siguientes (Gallegos, 2005):

Relacionadas con la resistencia estructural:

- Resistencia a la compresión: Propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar a compresión.

- Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.
- Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.
- Succión o velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.

Relacionadas con la durabilidad:

- Absorción: Propiedad física que hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.
- Resistencia a la congelación: Capacidad de los ladrillos de soportar bajas temperaturas sin perder sus propiedades ni sufrir fracturas.
- Resistencia al fuego: Propiedad física de los ladrillos que consiste en soportar altas temperaturas sin sufrir daños.
- Aislamiento térmico: Propiedad física que no permite la transferencia de calor, ya que tiene una baja conductividad térmica.

#### **1.4 Clasificación de los ladrillos**

De acuerdo a sus propiedades, el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifica al ladrillo en cinco tipos:

- Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios moderadas.
- Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- Tipo IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003), clasifica a los ladrillos de arcilla, en cuatro tipos, tal como sigue:

- Tipo 21: Para uso donde se requiera alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.
- Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

#### **1.5 Materia prima**

##### **1.5.1 Origen de la arcilla**

El término arcilla, que se considera y define de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. Desde el punto de vista de su origen, la arcilla no tiene significado unitario ya que puede ser un depósito sedimentario, un producto de meteorización, un producto

hidrotermal o ser el resultado de una síntesis. La imprecisión del término arcilla radica en que conceptualmente es diferente para el ceramista, el geólogo, el edafólogo o el fabricante de ladrillos (Besoain, 1985).

Del Río (1975), define la arcilla como una roca terrosa, como un producto secundario proveniente de la destrucción de materiales antiguos silicatados y aluminosos.

Otros autores como Kohl (1975), precisan que las arcillas son producto de la erosión química de las rocas. De una manera más ambigua Del Busto (1991) considera que es una clase especial de tierra, formada por descomposición de rocas mediante la acción de agentes ambientales.

La definición más completa parece ser la propuesta por Rhodes (1990), que indica que la arcilla constituye un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. Ésta ha sido obtenida por procesos geológicos de envejecimiento del planeta. Debido a que el proceso de envejecimiento es continuo y ocurre en cualquier punto del planeta, es considerada un material corriente y bastante abundante.

La gran mayoría de las rocas que conforman la corteza terrestre están formadas de feldespato ya que es el mineral más común de la Tierra. A este tipo de rocas formadas por feldespato se le conoce como rocas feldespáticas. Debido a la descomposición de estas rocas es que se da origen a la formación de arcilla (Rhodes, 1990).

### **1.5.2 Composición de la arcilla**

La arcilla, en su estado natural, está compuesta de uno o, como es el caso general, varios minerales arcillosos. En esencia los minerales de arcilla son silicatos de aluminio, pero también hay presente productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, y otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados, álcalis y materiales coloidales (Del Río, 1975).

Como ya se ha mencionado anteriormente, las arcillas se presentan en la naturaleza, derivadas directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldespatos o en depósitos aluviales o eólicos (Gallegos, 2005). Es por eso que la composición química de la corteza terrestre y la de la mayoría de las arcillas es muy similar como se muestra en la Tabla 1.1, donde los contenidos de sílice y de alúmina son los más altos dentro de la composición de los minerales (Rhodes, 1990).

**Tabla 1.1: Comparación entre el contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común (Rhodes, 1990)**

Componente	Corteza Terrestre (%)	Arcilla Roja Común (%)
SiO <sub>2</sub>	59.14	57.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.34	19.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.88	6.70
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na <sub>2</sub> O	3.84	2.38
K <sub>2</sub> O	3.13	2.03
H <sub>2</sub> O	1.15	3.45
TiO <sub>2</sub>	1.05	0.91

Algunos autores como Rhodes (1990) y Clews (1969) proponen la siguiente fórmula molecular de la arcilla: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub>2H<sub>2</sub>O. Esta fórmula no incluye las impurezas que siempre están presentes. Por tal motivo la fórmula anterior hace referencia a una arcilla pura que recibe el nombre de caolín.

Las arcillas con un mayor grado de pureza son las que cuentan con un alto contenido de sílice y alúmina. El contenido de hierro y otras impurezas en este tipo de arcillas tiende a ser más bajo. El caolín y la arcilla plástica son un ejemplo de este tipo de arcillas. El contenido químico de los diferentes tipos de arcillas puede variar considerablemente. Este cambio es consecuencia de las condiciones con las cuales se formó la roca ígnea de la que proviene (Rhodes, 1990).

La composición y naturaleza de la arcilla, determinan el uso y el valor de ésta. Es así que algunos de sus componentes tienen influencia sobre algunas de sus propiedades

- El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria.
- La sílice en forma coloidal aumenta la plasticidad.
- La alúmina la hace refractaria.
- El óxido de hierro al igual que el feldespato, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene 5% menos.
- Los filosilicatos de aluminio, manganeso y hierro le proporcionan a la arcilla cualidades plásticas y si bien es cierto que intervienen otros que tienen propiedades diferentes, contribuyen a darles cualidades que determinan su uso (Del Busto, 1991).

### 1.5.3 Características físicas de la arcilla

Es indudable que la caracterización de la arcilla depende de la complejidad y proporción de los componentes que la constituyen (Besoain, 1985).

La distribución granulométrica es una variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los elementos hechos con arcilla tales como porosidad, absorción de

agua, resistencia a la flexión, etc. Debido a que el tamaño de los granos de arcilla puede variar mucho dependiendo el tipo de arcilla al que se esté refiriendo, las propiedades físicas de las arcillas también varían (Rhodes, 1990).

Existen grandes cantidades de arcillas que cuentan con un porcentaje elevado de partículas cuyo diámetro es inferior a un micrón (0.001mm). La forma de estas partículas es delgada, plana y alargada. La arcilla cuenta con un área superficial por unidad de volumen muy grande, producto de la combinación de tamaño de sus partículas y su forma. El tamaño extremadamente pequeño de las partículas de arcillas es producto de la desintegración de la roca por el choque entre las partículas de las rocas. Pero en combinación con los granos diminutos de algunas arcillas se encuentran mezclados fragmentos de mayor tamaño. Estos granos de mayor tamaño pueden ser feldespato inalterado, cuarzo u algún otro mineral que se ha unido a la arcilla producto del transporte o durante la sedimentación.

El tamaño típico de grano, según SUCS, es de 4.75mm a 0.075mm de diámetro para arenas y menores de 0.075mm de diámetro para arcillas.

La proporción de los minerales en una arcilla varía con el tamaño del gránulo, es decir, hay tendencia a que se concentren algunos minerales entre límites de determinado tamaño. Así, el cuarzo, y más aún el feldespato, se acumula preferentemente en la fracción de la arcilla gruesa (2-0.2 $\mu$   $\phi$ ). Por el contrario, los minerales propios de la arcilla son los más abundantes en las fracciones más finas. Por lo general, en tamaños menores a 0.2 $\mu$   $\phi$ , existen sólo minerales de arcilla y algunos óxidos. La determinación completa de una arcilla sólo puede lograrse efectuando las segregaciones o fraccionamientos de tamaño adecuados. Una correcta identificación debe preservar las características que exhiben los minerales en su estado natural (Besoain, 1985).

#### **1.5.4 Propiedades de la arcilla**

Las propiedades de las arcillas están determinadas por sus antecedentes geológicos, especialmente por el medio en que se ha formado el depósito (ONU, 1970).

Las propiedades, que dependen de su mineralogía, estado físico e historia geológica, pueden modificarse con relativa facilidad y sus amplios usos son función de sus propias características y de las que resultan al asociarse con otras sustancias (Sociedad Geológica Mexicana, 1964).

Con el fin de entender mejor el comportamiento de la arcilla utilizada para la conformación de la mezcla para ladrillos, a continuación se definen algunas de las principales propiedades de la arcilla.

##### **1.5.4.1 Plasticidad:**

Ésta es la propiedad principal de las arcillas que la hacen adecuada para la fabricación de ladrillo y que hace referencia a la habilidad que tiene la arcilla, en combinación de cierta cantidad de agua, de mantener casi cualquier forma que se le dé.

La causa de que las partículas de arcilla se adhieran unas con otras ha sido motivo de muchos estudios, pero no ha sido completamente determinado aún. Hasta cierto punto la



plasticidad se debe a que el grano, por su forma (delgada, plana y alargada) y encontrarse húmedo, forma una película alrededor del grano que produce tal efecto.

Otros factores que contribuyen a la plasticidad de la mezcla son: la atracción química y el contenido de carbón en las arcillas. Debido a que la plasticidad no ha sido comprendida en su totalidad la forma de medirla sigue siendo mediante el tacto, esto es pellizcando, estrujando, o haciendo una bola con la mezcla, y observando si permanece con la forma que se le dio.

Se encuentran plasticidades diferentes en las arcillas, la estructura interior no es la misma en todas las tierras y, además, los cuerpos extraños mezclados con la materia arcillosa modifican la plasticidad según su estado físico y su composición (Del Río, 1975).

#### 1.5.4.2 Contracción:

Propiedad de las arcillas que produce una disminución en las dimensiones de lo que se esté moldeando al perder humedad. Al momento de realizar el moldeado, la arcilla se encuentra húmeda y con un alto contenido de agua, y cuando se realiza el proceso de secado la mezcla pierde el agua que contenía produciendo una reducción en el tamaño de la pieza moldeada.

Dos tipos de contracciones se llevan a cabo:

- a) Contracción por aire, que tiene lugar después que se ha formado la unidad, pero antes de que sea secada al horno.
- b) Contracción por fuego, que se produce durante el proceso de quemado.

Cualquiera de estos tipos de contracciones, si es excesivo, puede causar grietas y deformaciones en la unidad de albañilería (Schneider y Dickey, 1980).

#### 1.5.4.3 Refractariedad:

Propiedad de las arcillas, que se refiere a la resistencia a los aumentos de temperatura. Todas las arcillas tienen esta propiedad, pero algunas presentan un mayor grado de refractariedad. La variación en el grado de refractariedad de una arcilla a otra se debe al contenido químico de alúmina y sílice. Si la arcilla cuenta con un porcentaje alto de estos compuestos esta propiedad será mayor.

#### 1.5.4.4 Porosidad:

La porosidad de las arcillas varía de un tipo a otro. Esta propiedad depende mucho del tamaño de grano que tenga la arcilla. Si la arcilla tiene un tamaño de grano grande la porosidad será mayor que la de una arcilla con un tamaño de grano pequeño. Al momento de moldear y compactar la mezcla que será utilizada en la fabricación de la unidad de albañilería, las arcillas con granos pequeños quedan más unidas unas con otras. Esto evita que se acumule tanta agua entre ellas y al momento de que se cueza la pieza, disminuyen las cavidades provocadas por la evaporación del agua.

#### 1.5.4.5 Color:

Las arcillas se presentan con variados colores, siendo blancas las arcillas más puras, pero, en general, son más o menos grises, a veces azules o negras, y frecuentemente, amarillas, rojas o pardas (Del Río, 1975).

Los diversos matices dependen de su contenido químico pero en este caso no lo determina el contenido de sílice y alúmina, sino que los causantes de la coloración lo determinan las impurezas de origen tanto mineral como orgánico, principalmente: óxido de hierro, óxido de cobalto, óxido de cobre, pentóxido de vanadio, cobalto y el óxido de manganeso.

### 1.5.5 Clasificación de las arcillas

Diversos autores establecen la clasificación de las arcillas teniendo en cuenta ciertos aspectos, como son su origen, su composición o su capacidad para absorber agua.

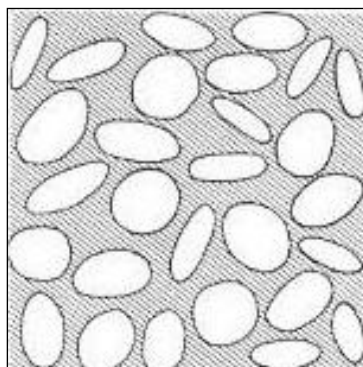
#### 1.5.5.1 Según su origen:

##### a) Arcillas primarias o residuales:

Los depósitos primarios de arcilla se han formado en el mismo lugar que sus rocas madres. Las arcillas derivan directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldspatos (Gallegos, 2005). Es por ello que la arcilla originaria de estos depósitos suministra los productos más puros, pero se encuentran raramente (Del Río, 1975).

Estas arcillas que no han sido transportadas por el agua, el viento o el glaciar; son generalmente más puras. Esto se debe a que las partículas que contienen el mayor número de impurezas son aquellas arrastradas por el viento o el agua. En la mayoría de los depósitos de arcillas primarias se pueden encontrar pedazos de roca inalterada. Debido a que la arcilla no ha sido sometida al proceso de selección de granos mediante la suspensión en el agua, los granos grandes y pequeños se encuentran mezclados. Comúnmente los bancos de arcillas primarias tienden a tener granos gruesos (ver Figura 1.1) y una plasticidad baja (Hamilton, 1989).

**Figura 1.1: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla residual o primaria (Hamilton, 1989)**



A pesar de que las arcillas primarias generalmente tienden a estar libres de impurezas, no existen depósitos de arcilla en donde sea posible encontrar arcillas 100% puras. Esto se debe a que incluso las arcillas residuales contienen algunas impurezas, producto de la asociación de varios minerales de arcilla con otros minerales.

Las arcillas primarias se caracterizan por:

- Alto grado de refractariedad, ya que se funden a temperaturas apenas menores a los 1750° C.
- Relativa pureza, ya que tienen altos porcentajes de sílice y alúmina, y bajo contenido de óxido de hierro y otras impurezas; en su composición química.
- Color blanco adquirido después de la cocción, producto de su bajo contenido de impurezas.
- Poca plasticidad al ser moldeadas, ya que no conservan la forma que se les da después del moldeo.

b) Arcillas secundarias o sedimentarias:

Los depósitos secundarios resultan del transporte de la arcilla por la acción del agua, viento o del hielo. La arcilla procedente de estos depósitos es la que más abunda en la Tierra (Del Río, 1975).

Las arcillas secundarias hacen referencia al tipo de arcilla que no se encuentra en el mismo lugar en donde se realizó la desintegración de su roca madre, y ha sido transportada a otro lugar. El medio más común en el que son transportadas las partículas de este tipo de arcillas es el agua, pero el viento y los glaciares también funcionan como medio de transporte para estas arcillas. Las arcillas transportadas por agua sufren dos procesos durante su transporte. Primero son disminuidas de tamaño debido al desgaste por rozamiento entre las partículas, y después, al llegar a aguas tranquilas pasan por un proceso de selección. En esta etapa de selección, las partículas más grandes se separan por sedimentación de las partículas más pequeñas, las cuales continúan suspendidas en el agua.

La pureza de este tipo de arcillas es menor al de las arcillas primarias, ya que las arcillas secundarias son una mezcla de gran cantidad de arcillas producto de la erosión procedentes de diferentes lugares. Por ello es común encontrar, en el contenido químico de estas arcillas, porcentajes de hierro, cuarzo, mica y otras impurezas.

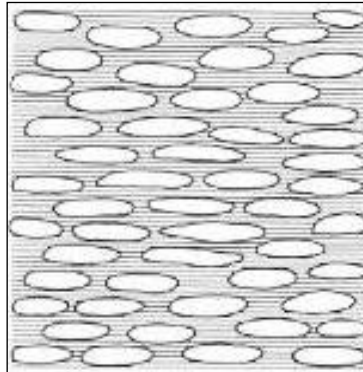
Es muy raro, pero no imposible encontrar arcillas secundarias con un nivel de pureza mayor al de la mayoría de este tipo de arcillas. A este tipo de arcillas se le conoce como “arcillas de bola”, y son muy útiles para mejorar la plasticidad de las arcillas primarias sin afectar su coloración blanca. Un ejemplo de este tipo de arcillas son los llamados “caolines secundarios”, los cuales tienen relativamente un bajo contenido de hierro.

Las principales características de las arcillas secundarias son:

- Alto grado de plasticidad, ya que tienen granos más pequeños (ver Figura 1.2).
- Pueden adquirir diferentes coloraciones después del proceso de cocción, desde blanco hasta marrón oscuro, la razón es porque cuentan con un alto contenido de impurezas.

- Su punto de fusión generalmente se encuentra entre los 1150° C y los 1500° C.

**Figura 1.2: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla sedimentaria o secundaria (Hamilton, 1989)**



#### 1.5.5.2 Según su composición:

Pueden ser clasificadas, dependiendo de su composición básica (Gallegos, 2005):

- Calcáreas: Contienen alrededor de 15% de carbonato de calcio. Producen ladrillos de color amarillento.
- No calcáreas: Compuestas de silicato de alúmina, tienen de 2 a 10% de óxidos de hierro y feldespato y queman a un color rojizo o salmón.

Este tipo de arcillas son usadas para la elaboración de unidades de albañilería en las que la apariencia estética no es un factor (Huntington y Ellison, 1987).

#### 1.5.5.3 Según su capacidad de absorción de agua:

Del Busto (1991) y Kohl (1975) coinciden en clasificar a las arcillas según su capacidad para absorber agua. Así, tenemos 2 clases:

- Grasas: Son arcillas demasiado plásticas, incluso para pequeñas humedades. Presentan en su constitución una gran concentración de minerales arcillosos y una baja concentración en arenas silíceas. Además contienen gran cantidad de componentes en estado coloidal, pueden absorber mucha agua, al secarse sufren de contracciones demasiado considerables. Este tipo de arcillas se moldean con facilidad, pero su gran adherencia impide el desmoldeo correcto del producto elaborado.
- Magras: Absorben poca agua y poseen una baja plasticidad. Al secarse no experimentan mucha contracción. Va acompañada de abundante arena.

### 1.5.6 Arcillas para la fabricación de ladrillos

Dependiendo de las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, éstas presentarán diferentes características propias de cada tipo que

determinarán las propiedades que va a tener la mezcla de la cual formen parte, en este caso para la elaboración de ladrillos (Gallegos, 2005).

- Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias).
- Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla (Referencia Figura 1.5).
- Sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

De acuerdo a estas características, son las arcillas superficiales las que satisfacen estas condiciones para ser adecuadas para la fabricación de ladrillos. Este tipo de arcillas son las más fáciles de explotar porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y, por lo tanto son las más empleadas. Sin embargo, al estar más expuestas a la contaminación con sales por razones naturales y por el empleo agrícola del suelo, ellas producen las unidades más vulnerables a la eflorescencia (Gallegos, 2005).

### **1.5.7 Impurezas frecuentes y su influencia sobre las unidades de arcillas**

No hay arcilla perfectamente pura, sino que siempre va acompañada por más o menos cantidad de materias extrañas a ella que constituyen las llamadas impurezas. Estas impurezas pueden encontrarse en ella a partir de su origen; pueden también hallarse accidentalmente o haber sido incorporadas mucho más tarde (Del Río, 1975).

#### a) Impurezas de origen:

Con frecuencia provienen de los residuos que han dejado las rocas cuando, en su desintegración, dan origen a la arcilla. El cuarzo y la mica son los que se encuentran más frecuentemente y en mayor cantidad. Por consiguiente, solamente deben considerarse como impurezas principales el cuarzo y la mica. A veces se podrá encontrar algo más, pero es tan poco y tan raras veces, que no tiene importancia tenerlo o no en cuenta.

#### b) Impurezas accidentales:

Aparecen en las arcillas que han sido desplazadas y arrastradas a lugares lejanos de los de su formación a causa de perturbaciones geológicas; por lo tanto no es sorprendente que en dichas arcillas se hayan depositado cuerpos extraños que han sido arrastrados en su desplazamiento. Tales son los carbonatos alcalinotérreos o terrosos (calcio, magnesio), los compuestos ferruginosos y el rutilo, que es el anhídrido titánico.

Las piritas de hierro no aparecen extremadamente puras en las arcillas; por el contrario, a veces están completamente oxidadas. La arcilla que posea piritas es porosa bajo la influencia del calor. Sometida a la acción de una llama reductora, la pirita se transforma

en sulfuro de hierro fácilmente reducible a polvo, lo cual puede producir hendiduras. Bajo fuego oxidante aparece la producción de óxido de hierro y compuestos oxigenados de azufre. Estas combinaciones sulfurosas pueden originar graves inconvenientes en la cocción de los ladrillos, puesto que éstos son alterados fácilmente por esa causa.

Las piezas elaboradas conteniendo sulfuro de hierro se mantienen húmedas durante un tiempo bastante largo y cada grano de sulfuro, al oxidarse, conduce indefectiblemente a una destrucción de la homogeneidad de la región arcillosa que lo envuelve, y esta falta de homogeneidad provoca una rotura.

La cal se encuentra especialmente en el estado de carbonato. Este carbonato se presenta a veces en trozos compactos; otros casos, y más a menudo, está íntimamente mezclado a la arcilla y únicamente por medio de un ensayo químico puede apreciarse su presencia. Una gran cantidad de carbonato cálcico es perjudicial en la arcilla, puesto que el producto se agrieta y pierde cohesión.

El sulfato de calcio, que puede ser anhidro (anhidrita) o hidratado (distintas variedades de yeso), en el caso de que la arcilla esté débilmente cocida, se deshidrata sencillamente y se vuelve a hidratar bajo la influencia del aire húmedo, taladrando la masa con una multitud de canales capilares que la convierten en una materia heladiza y, paralelamente, disminuyen su solidez (Del Río, 1975).

El carbono es una impureza común en las arcillas y se presenta en forma de raíces, de vetas de turba o en capas delgadas, como en el caso del carbón o disperso en partículas muy finas como en los esquistos carbonosos y bituminosos. Su presencia es útil cuando sirve de combustible o muy perjudicial sobre todo cuando hay variación de calidad y cantidad. En este último caso, es necesario alargar la duración de la cochura o bien oxidar completamente el carbono. De lo contrario, habrá que resignarse a obtener un producto ennegrecido por dentro o incluso “hinchado” (ONU, 1970).

### **1.5.8 Efectos de la calidad de la materia prima en la calidad final de las unidades**

Las características y propiedades de las unidades de arcilla son afectadas por diversos factores, pero determinante es la composición química de la materia prima. Aunque el proceso de moldeo y cocción también son relevantes, éstos se establecen en función de las características de la materia prima.

En la Tabla 1.2 se ha resumido los principales componentes mineralógicos de la materia prima de la arcilla y los efectos que producen en la fabricación de las unidades de albañilería.

Por ejemplo el color de las unidades se ve afectada por la presencia de hierro, que en una cantidad menor al 7% proporciona una coloración rojiza, si se presenta un mayor porcentaje se presentará una coloración azul oscura. Además del hierro, el óxido de magnesio, en un porcentaje menor a uno, proporciona una coloración amarilla. El óxido de hierro produce unidades rojas o blancas con porcentajes menores al 5%.

La presencia de carbono puede llegar a producir unidades ennegrecidas por dentro si no se ha tomado un adecuado control del proceso de cocción.

Asimismo la presencia de piratas de hierro en exceso puede ocasionar coloraciones indeseables. También puede llegar a alterar la textura de las unidades de albañilería por la aparición de cuarteaduras sobre el producto obtenido.

Existen algunos minerales tales como sílice, cal y feldespato que proporcionan compacidad a las unidades, de presentarse exceso de estos minerales, se perdería la cohesión y homogeneidad del material. Así, la sílice debe mantenerse en un rango de 50% a 60% y la cal debe encontrarse por debajo del 10%. Estos valores límite también evitan el agrietamiento en el producto final.

Otros minerales como el cuarzo, disminuyen la retracción y contribuyen a la refractariedad. La alúmina en porcentajes mayores a cinco, proporciona el aumento de la refractariedad del material.

La presencia de cal, influye en el alabeo. Si se presenta un exceso de cal (mayor a 10%), produciría deformaciones de las unidades. También la presencia de carbono durante el proceso de cocción, llevaría a unidades hinchadas.

Una característica importante en las unidades es que no debe presentar eflorescencia; para ello el porcentaje de álcalis y ácidos presentes en la materia prima debe permanecer por debajo del 0.2%.

Otra de las propiedades a mencionar es la resistencia a la compresión. Entre los componentes que producen efectos sobre ella, está el sulfato de calcio que produciría una unidad quebradiza con poca resistencia si se lleva a cabo una cocción débil. El óxido de magnesio que produciría deterioro por expansión de la superficie si se presentan cantidades mayores a 1%.

También se encuentra que el sulfuro de hierro al oxidarse, lleva a la destrucción de la homogeneidad, afectando la resistencia puesto que provoca rotura de la unidad.

**Tabla 1.2: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida (Elaboración propia)**

<b>PROP. Y CARACT.</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Compacidad</b>	<b>Bien cocido</b>	<b>Retracción</b>	<b>Refractario</b>	<b>Alabeo</b>	<b>Eflorescencia</b>	<b>Resistencia a la Compresión</b>
<b>COMPOS. QUÍM.</b>									
<b>Álcalis y ácidos mayor del 0,2%</b>								Con un porcentaje mayor se produce eflorescencia.	
<b>Sílice (50-60%)</b>			Al exceder el rango pierde cohesión.	Dentro del rango previene el agrietamiento.					Un exceso produce poca cohesión que lleva al agrietamiento de la unidad.
<b>Alúmina (&gt; 5%)</b>						Aumenta la refractariedad del material.			
<b>Hierro (&lt;7%)</b>	Imparte una coloración rojiza, en exceso produce coloración azul oscura.								
<b>Cal (&lt;10%)</b>			Su exceso produce pérdida de cohesión en la unidad.	Su exceso produce agrietamiento en la unidad.			Su exceso produce deformación de la unidad.		Con un porcentaje mayor, la cohesión es poca llevando al agrietamiento de la unidad.
<b>Presencia de cuarzo</b>					Disminuye la retracción del material.	Contribuye a la refractariedad del material.			
<b>Presencia de Sulfato de calcio</b>									Con una cocción débil, se produce una unidad heladiza disminuyendo su resistencia.

**Continúa en página siguiente**



**Continuación Tabla 1.2**

<b>PROP. Y CARACT.</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Compacidad</b>	<b>Bien cocido</b>	<b>Retracción</b>	<b>Refractario</b>	<b>Alabeo</b>	<b>Eflorescencia</b>	<b>Resistencia a la Compresión</b>
<b>COMPOS. QUÍM.</b>									
<b>Presencia de Carbono</b>	Puede producir un producto ennegrecido por dentro si no se controla el quemado.						Puede producir un producto hinchado si no se controla el quemado.		
<b>Presencia de Sulfuro de hierro</b>									Al oxidarse conllevan a destrucción de la homogeneidad y como consecuencia provoca rotura.
<b>Presencia de Piritas de hierro</b>	Su exceso puede ocasionar coloraciones indeseables.	Su exceso puede ocasionar cuarteaduras sobre el material.							Un exceso origina cuarteaduras en el material que llevarían a la rotura.
<b>Presencia de Feldespato</b>							Mantiene la homogeneidad de la unidad, evitando deformaciones.		
<b>Óxido de magnesio &lt;1%</b>	Imparte coloración amarilla a la unidad.								Su exceso produce deterioro por expansión de la superficie.
<b>Óxido de hierro (&lt;5%)</b>	Produce un producto rojo o blanco.								

## 1.6 Procesos de producción

### 1.6.1 Tipos de proceso de fabricación

La producción de ladrillos puede llevarse a cabo de tres formas, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana:

1. Artesanal: Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.
2. Semi-Industrial: Es el ladrillo fabricado con procedimientos manuales, donde el proceso de moldeado se realiza con maquinaria elemental que en ciertos casos extruye, a baja presión, la pasta de arcilla. El ladrillo semi-industrial se caracteriza por presentar una superficie lisa.
3. Industrial: Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad.

Las formas de producción artesanal y semi-industrial, tienen los mismos pasos o secuencias, únicamente variando en los instrumentos, métodos y herramientas utilizadas para la producción. La principal variación se da en el proceso de moldeado, como ya se explicó en la definición, para el ladrillo semi-industrial se utiliza maquinaria que extruye la pasta de arcilla, por lo que se obtienen unidades de superficie lisa.

El proceso industrial se diferencia de los dos primeros procesos de fabricación no solo en la utilización de maquinaria para el proceso de moldeado sino en el empleo de hornos más sofisticados para la fase de cocción. En estos hornos se lleva un control de temperatura, logrando una mayor eficiencia en la producción de unidades de arcilla con una mejor calidad final.

### 1.6.2 Fabricación

Los pasos básicos para la producción de ladrillos son:

- a) Selección y preparación de la mezcla

Etapa muy importante de la fabricación. De la fineza de la pasta depende en gran parte que el producto sea bien logrado (aspecto, resistencia, etc.).

Los depósitos de arcilla se encuentran al pie de colinas o en tierras agrícolas cercanas a ríos. Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una vía transitable.

La excavación manual en plantas de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de dos metros. Para plantas de fabricación de ladrillos a gran escala se necesitan medios mecánicos como dragaminas y excavadoras de cucharas de diferentes tipos. Estos métodos requieren proporcionalmente menos área de excavación, pero hacen cortes profundos en el paisaje.

La arcilla debe someterse a ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo en acopio, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características mecánicas y químicas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, etc.) favorece además a la descomposición de la materia orgánica que puede estar presente y permite la purificación química del material.

La principal dificultad inherente a la fabricación consiste en la elección de una mezcla de diferentes arcillas. Así por ejemplo con aquellas que son muy grasas se les mezclará con materiales desgrasantes como la arena (Robusté, 1969).

El porcentaje de agua utilizada para la mezcla es aproximadamente del 25% del total (Jiménez y Salazar, 2005).

#### b) Moldeado

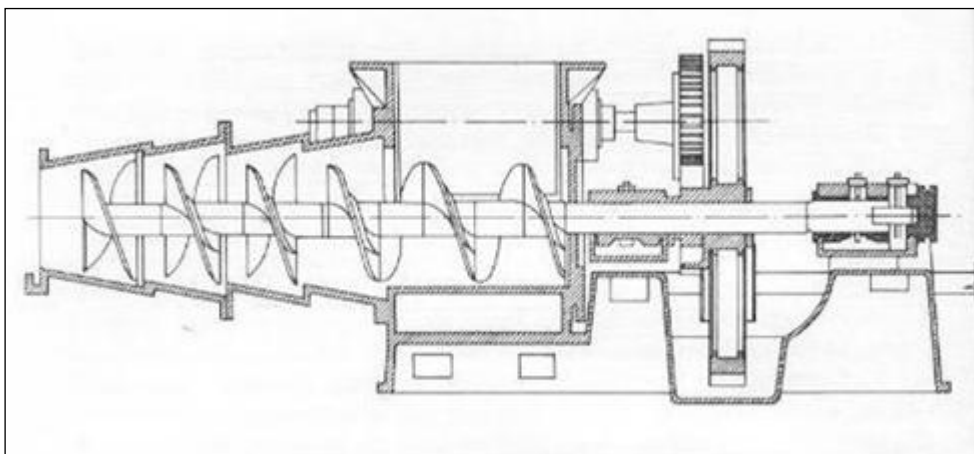
En esta etapa, se le da a la arcilla la forma que las unidades de albañilería deberán tener después de la cocción. El proceso de moldeado se puede realizar a mano o empleando máquinas.

El proceso de moldeado en la producción de ladrillo artesanal únicamente consiste en llenar las gaveras o moldes vaciando la mezcla dentro de ellas, compactándola con las manos y después alisándola con un rasero, que es un palo cilíndrico que se usa para quitar la parte que excede de una medida determinada (Rhodes, 1990).

La fabricación mecánica puede ser mediante una máquina que se conoce como galletera de hélice o mediante una prensa de vacío (Moreno, 1981).

La galletera de hélice consiste en un cilindro horizontal, dentro del cual gira un eje guarnecido con una hélice que impulsa la pasta y la obliga a salir por una boquilla (ver Figura 1.3).

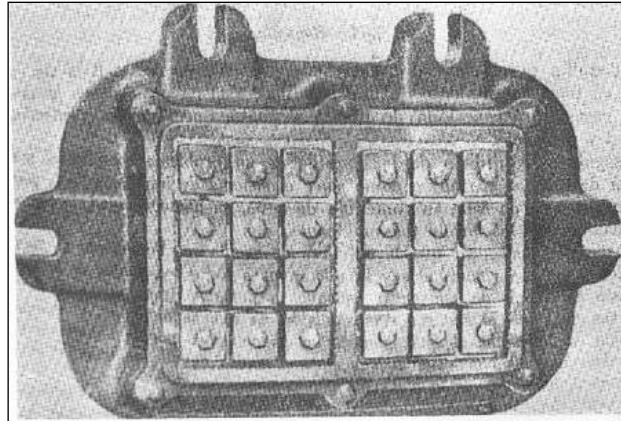
**Figura 1.3: Galletera de Hélice (Moreno, 1981)**



La boquilla, cuya misión es darle forma al ladrillo, consiste en una pieza de madera sujeta con tornillos a una gruesa placa rectangular de fundición llamado

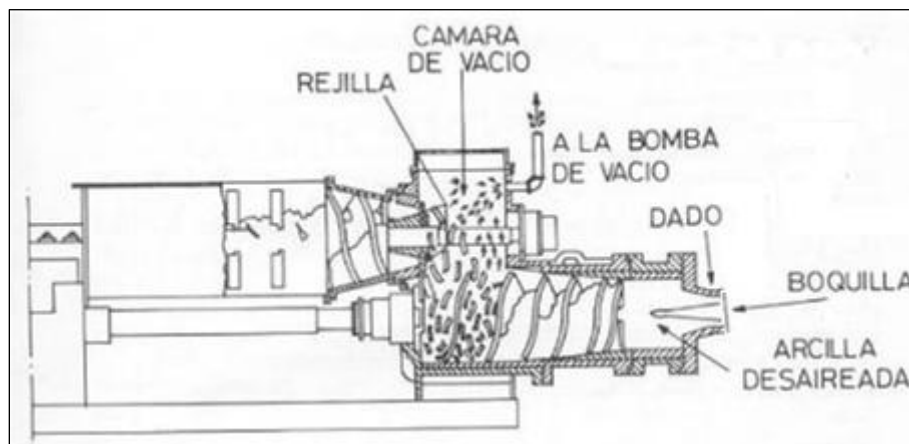
portaboquillas (ver Figura 1.4). El portaboquillas es el que recoge la arcilla y la hace compacta antes de llegar a la boquilla.

**Figura 1.4: Boquilla (Moreno, 1981)**



Actualmente se usan galleteras de vacío, también conocidas como Prensas de Vacío, que tienen la ventaja de que al momento de realizar el moldeado consiguen una homogenización de la arcilla y eliminación del aire, como la que se muestra en la Figura 1.5 (Moreno, 1981).

**Figura 1.5: Prensa de Vacío (Moreno, 1981)**



### c) Secado

El proceso de secado consiste en el desprendimiento del agua unida físicamente a la pasta.

Dentro del proceso de secado hay un proceso conocido como pre-secado, el cual consiste en dejar durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho para que pierda humedad y sea posible su manipulación.

En el proceso de secado se involucran dos fenómenos físicos: Transferencia de calor y Transferencia de masa. La transferencia de calor se da cuando el ladrillo y el ambiente encuentran un equilibrio térmico, del cual dependerá en parte la velocidad de difusión

del agua presente en la arcilla. El fenómeno de transferencia de masa se da siempre y cuando exista un gradiente de humedad entre el ambiente y la arcilla, ya que se produce cuando el vapor de agua se difunde a través de los poros de la matriz arcillosa. El tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión, misma que está en función del tamaño, longitud y forma del poro de la arcilla (Rhodes, 1990).

El secado puede ser natural o artificial. En el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región y algunas veces el lugar de secado es colocado sobre los hornos para que de esta manera se pueda recuperar algo de la energía perdida a través de la bóveda del horno.

En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire. Existen muchos tipos de secadores artificiales pero los más conocidos son los de cámara y los de túnel. Los productos a secar son llevados por medio de pequeñas vagonetas en donde son sometidos a un proceso de secado regulado al contenido de agua de los productos. El aire caliente utilizado para el secado proviene de máquinas especiales que algunas veces aprovechan el calor de los hornos cuando éstos están en proceso de enfriamiento.

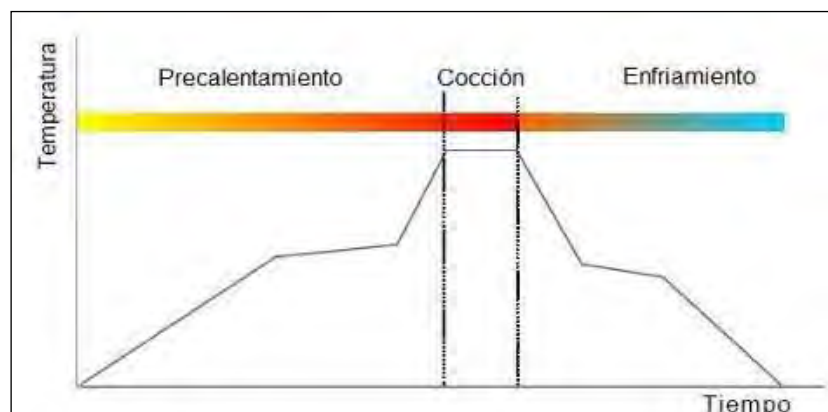
El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento (Robusté, 1969).

#### d) Cocción:

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos previamente secados a condiciones de alta temperatura por tiempos prolongados en hornos, con el fin de que adquieran sus propiedades mecánicas y físicas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas. Con este proceso no sólo consiguen las propiedades físicas y mecánicas sino también la apariencia final.

Las fases de cochura en el horno son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento (ver Figura 1.6). En la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los 100° C.

**Figura 1.6: Ciclo de cocción típico de un producto de arcilla (Terán, 2013)**



En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de 500° C a 600° C), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de las piezas vitrificadas.

El enfriamiento de las piezas está definido por su tamaño, cuanto mayor es el tamaño de los ladrillos, la temperatura normal se alcanza más lentamente. Los productos cuyo enfriamiento se realiza lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas. Por el contrario un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto que si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente, sin la intervención de agentes mecánicos exteriores (Anfalit, 2002).

Villarreal (2004) considera cuatro etapas durante el proceso de cocción:

1. Precalentamiento a 200° C y eliminación del agua unida físicamente a la arcilla.
2. Calentamiento hasta 700° C, aquí se da la eliminación del agua químicamente unida a la arcilla.
3. Maduración del producto entre 900° C y 1000° C.
4. Temple de la pieza, enfriamiento lento hasta alcanzar 500° C.

En este proceso, es importante considerar el intervalo de cocción, es decir, el rango de temperatura entre el inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y el inicio de la deformación. Este intervalo depende de las características de la pasta y debe ser lo más amplio posible, debiendo estar la temperatura óptima de cocción dentro de dicho intervalo, no demasiado cerca del inicio de la vitrificación para que el material no sea demasiado poroso, y no demasiado cerca del inicio de la deformación para que la pieza no quede deformada.

Con un intervalo de cocción demasiado corto, cualquier pequeña diferencia de temperatura del horno hace que el producto pase de poco a demasiado cocido.

Otro factor importante a considerar es el control de la curva de cocción, de la cual dependerán varias de las características del ladrillo. Si no se controla la evolución de la temperatura en el tiempo, puede haber problemas con el ladrillo, incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas.

La cocción, en el proceso de fabricación de las unidades de albañilería, es la fase final más importante del mismo. La eficiencia de esta etapa depende, entre otros factores, del tipo de horno empleado.

Durante el proceso de cocción, el material, ya bastante seco como para no agrietarse al ser sometido al fuego, adquiere la resistencia necesaria para ser empleado como material de construcción, de lo que se deduce que esta etapa es la más compleja del proceso de elaboración. De hecho, el ciclo de cocción requiere un diseño específico para cada materia prima, con el fin de lograr los resultados esperados. Los efectos que producen los componentes mineralógicos de las arcillas (Tabla 1.2) suponen la necesidad de un diseño del ciclo de cocción o un control de dichos componentes para que el ciclo de cocción se desarrolle correctamente.

En esta etapa se utilizan, de acuerdo al tipo de fábrica o a la tecnología empleada, varios tipos de hornos que van desde los más rústicos hasta los más modernos y eficientes (Gordejuela, 2004). En general, se pueden identificar dos tipos de hornos para la cocción de ladrillos: los Hornos Intermitentes con suelo y muros laterales, y los Hornos de Fuego Continuo tipo Hoffman.

Los hornos intermitentes, son los más sencillos y consisten en un cuarto con planta cuadrada o rectangular, de altura de 5 a 6 metros. Sus muros deben tener bastante espesor para que retengan mejor el calor; por la parte superior está libre, disponiendo una cubierta separada lo suficiente para que los productos de combustión puedan salir libremente (ver Figura 1.7). En la parte baja de la pared de fachada se practican algunas puertas o bocas para la introducción del combustible y entrada de aire; en las paredes empezando desde 1.50 a 2 metros del suelo, se disponen de unas aberturas estrechas y altas que facilitan la carga y descarga del horno, cerrándose estas aberturas durante la cocción. En este tipo de hornos el proceso de combustión es incompleto porque la falta de oxígeno provoca que el material no se queme completamente, generando piezas crudas y ahumadas (Moreno, 1981).

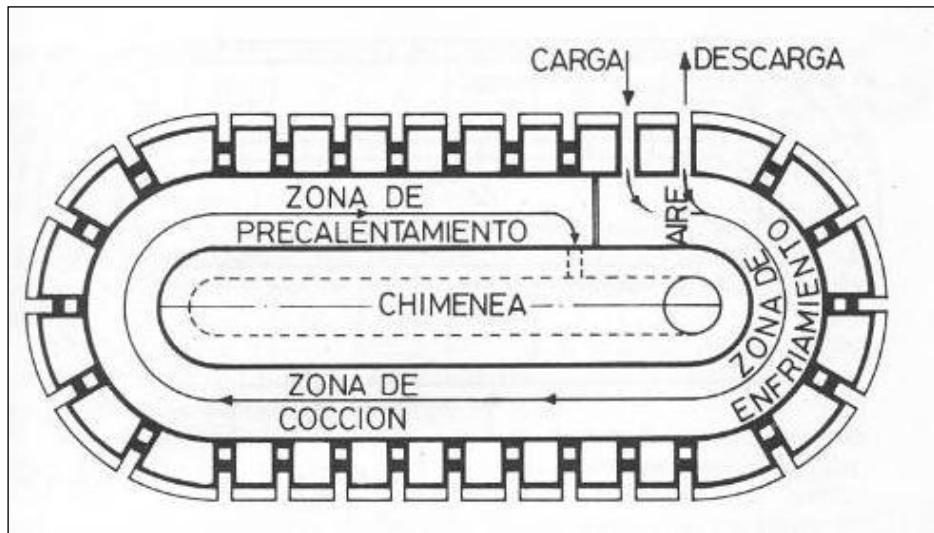
**Figura 1.7: Horno Intermitente con suelo y muros laterales, típico de México (Jiménez y Salazar, 2005)**



Otro tipo de horno que puede ser utilizado en la producción de ladrillos es el denominado Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman (ver Figura 1.8).

El funcionamiento continuo de los hornos se caracteriza por el desarrollo ininterrumpido de la cocción y la posibilidad de efectuar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción. Son hornos de alta producción, donde el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj; esto permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción, ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes.

**Figura 1.8: Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman (Moreno, 1981)**



Este horno puede ser de planta rectangular y consta de una galería anular rodeada por gruesos muros y cubierta por una bóveda recubierta superiormente por una capa de arena. Esta galería está dividida en varios compartimentos mediante unos tabiques de plancha de hierro que corren por unas rodaduras que sirven de guías. Cada compartimento tiene una boca o entrada de 0.80 por 1 metro practicada en el muro exterior del cerramiento, la que sirve para la carga y descarga del material, teniendo además en el muro interior un orificio que comunica con otra galería concéntrica y más pequeña que la primera, llamada galería de humo que, a su vez, está en comunicación con la chimenea que establece el tiraje necesario para la combustión mediante cuatro aberturas practicadas en el muro de la chimenea (Moreno, 1981).

### 1.6.3 Efectos del proceso de producción en la calidad final de las unidades

Las etapas del proceso de producción también influyen en las propiedades de las unidades de arcillas. De hecho, el proceso de producción (moldeo y cocción) debe adaptarse a las características de la materia prima. Como se ha visto en el punto 1.5.8, muchos componentes presentes en la materia prima de las unidades requiere condiciones especiales de secado y un determinado control de las temperaturas de cocción.

Durante la preparación de la mezcla, que incluye el proceso de extracción de la materia prima, debe cuidarse que se haya realizado una correcta eliminación de las raíces, piedras, restos de arbustos o cualquier otro residuo que podría aparecer en la superficie de la unidad de albañilería ya terminada. Asimismo debe tenerse en cuenta el tipo de materia prima que se va a emplear, puesto que si posee sales solubles originaría eflorescencia en las unidades. Lo mismo ocurriría si no se cuida el tipo de agua a emplear en la mezcla, para ello se debería comprobar que esté libre de sales para evitar eflorescencias.

Por otro lado, en el proceso de moldeo se debe considerar realizar un buen amasado de la mezcla y una correcta colocación en los moldes. La mezcla debe prensarse adecuadamente dentro los moldes llenándolos en su totalidad, para evitar obtener unidades porosas o unidades con esquinas redondeadas.



De la misma forma debe considerarse utilizar arena en los moldes o asegurarse que estén suficientemente húmedos de lo contrario las esquinas quedarían pegadas al molde al momento de desmoldarse generándose esquinas levantadas en la unidad.

En el proceso de secado, las unidades deben estar lo suficientemente secas antes de apilarse, pues ocasionaría marcas por apilamiento. Además si la superficie de secado está sucia o es accidentada, influiría en la textura pues se obtendrían productos con superficies irregulares o distorsionadas.

Por los cambios de temperatura que se presentan en el ambiente, en la etapa de secado se presentan cambios en las dimensiones originales al producirse el fenómeno de contracción. Y de realizarse un secado rápido, se produciría agrietamientos que disminuirían la resistencia de la unidad.

Finalmente se tiene el proceso de cocción, donde se determina muchas de las propiedades de las unidades de arcilla.

En esta etapa se produce el color final que tendrá la unidad. Con una subcocción se tendría una unidad amarillenta y cruda. Por otro lado con una sobrecocción, podría llegarse a unidades negruzcas.

La subcocción también da lugar a unidades de baja resistencia que se reconocen por el sonido sordo al golpearlas entre sí.

De presentarse subcocción o sobrecocción, se modificaría el tamaño de unidad, al disminuir o aumentar sus dimensiones. Y por el cambio de temperaturas en el horno, que llevaría a variaciones en la forma de la unidad, se presentaría el alabeo.

En el proceso de cocción se puede diferenciar la intensidad de quemado y el enfriamiento. Con una cocción demasiado alta, se disminuiría la resistencia de la unidad. Asimismo si el enfriamiento es demasiado rápido, provocaría rotura o agrietamiento en la unidad, lo cual disminuiría su resistencia.

Una síntesis de los efectos de cada etapa en la calidad final de las unidades se muestra en la Tabla 1.3. Tomando en consideración los efectos de la composición mineralógica de la materia prima en la calidad final de las unidades (Tabla 1.2) y las etapas del proceso de producción (Tabla 1.3), se puede concluir que ambas se relacionan e influyen en el resultado final de las unidades, favoreciendo en mayor o menor medida su calidad. No se trata únicamente de qué tipo de materia haya sido seleccionada para la elaboración de las unidades y si presenta mejores características, sino también la manera en que esta materia prima es tratada para la fabricación de los ladrillos, lo que llevará a un único resultado final.

**Tabla 1.3: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida (Elaboración propia)**

EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS UNIDADES	PROCESO DE PRODUCCIÓN				
	Preparación de la mezcla	Moldeo	Secado	Cocción	
				Intensidad de quemado	Enfriamiento
Ángulos y bordes agudos		El mal amasado de la mezcla, así como la mala colocación en sus moldes lleva a obtener unidades deformadas.	Las unidades deben estar suficientemente secas antes de apilarse, pues ocasionaría marcas por apilamiento.		
Porosidad		Los moldes deben llenarse correctamente y en su totalidad, evitando dejar vacíos que lleven a aumentar la porosidad del producto final.			
Color				Si se da una sobrecocción puede producirse una unidad negruzca o muy amarilla de estar subcocido.	
Textura	Sin una correcta extracción de raíces, piedras, restos de arbustos, podrían aparecer en la unidad terminada, en su superficie.	Dependiendo de los moldes utilizados y su limpieza internase presentará una texturas más o menos regular.	Con una superficie de secado sucia o accidentada, se obtendría productos con superficies irregulares o distorsionadas.		
Sonido				La subcocción da lugar a unidades débiles que se reconocen por el sonido sordo al golpearlas entre sí.	
Tamaño			Puede presentarse contracción por los cambios de temperatura, disminuyendo sus dimensiones originales.	De presentarse una subcocción o sobrecocción, se modificarían las dimensiones de la unidad.	
Eflorescencia	Si hay sales solubles ya sea en la materia prima o en el agua utilizada en la mezcla, se producirá eflorescencia.				
Alabeo		La mala colocación en el molde y la mala manipulación en el desmoldeo o al trasladarlos incorrectamente al lugar de secado produce deformaciones.		Por los cambios de temperatura en el horno, se puede presentar variaciones en la forma de la unidad.	
Resistencia compresión			Agrietamiento en la unidad que disminuye su resistencia, si el secado es demasiado rápido.	Con una cocción muy alta se disminuiría la resistencia del producto final.	El rápido enfriamiento ocasionaría rotura de la unidad.

## Capítulo 2

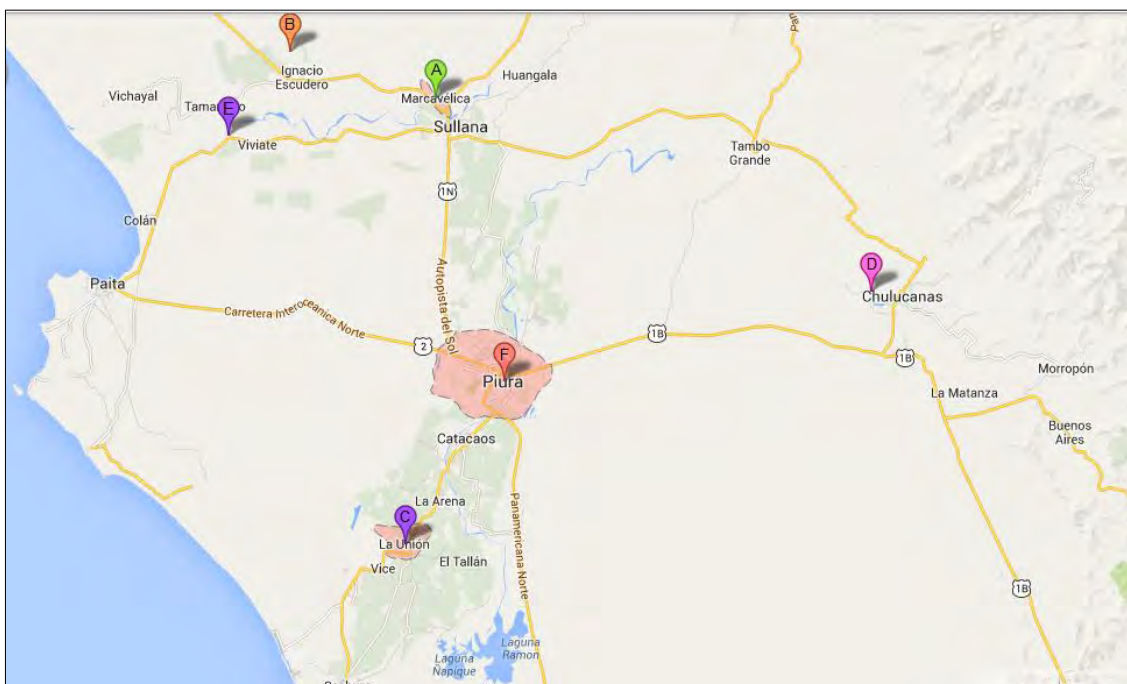
### Proceso de producción en las zonas productoras de la Región Piura

#### 2.1 Características de la materia prima en la región

Como ya se ha visto en el Capítulo 1, la materia prima y el proceso de producción influyen en la calidad final de las unidades de albañilería. Por ello, en base a criterios geológicos, se puede mencionar que en la región Piura la arcilla usada para la producción de ladrillos pertenece al Cuaternario Reciente.

En la Figura 2.1 se puede observar algunos de los lugares donde se ejerce la actividad de fabricación de ladrillos. Estas zonas no siempre son elegidas con conocimiento completo acerca de las propiedades de las arcillas que se encuentran allí, sino que se eligen por su proximidad a las carreteras para facilitar su transporte y comercialización. Otro criterio es la cercanía a las fuentes de agua que utilizarán en la preparación de la mezcla, como los lechos de ríos.

**Figura 2.1: Mapa de zonas de elaboración de unidades de albañilería en la Región Piura**



Uno de los lugares donde se encuentra la arcilla más adecuada para la producción de ladrillos es Chulucanas, en la zona de La Encantada. Esto se debe a la proximidad con los grandes macizos graníticos que hay en el área. El tipo de roca encontrada es caolinita que es una arcilla plástica, de fácil moldeo, con alta resistencia mecánica en crudo y en cocido, además de presentar una mayor facilidad para desmoldar.

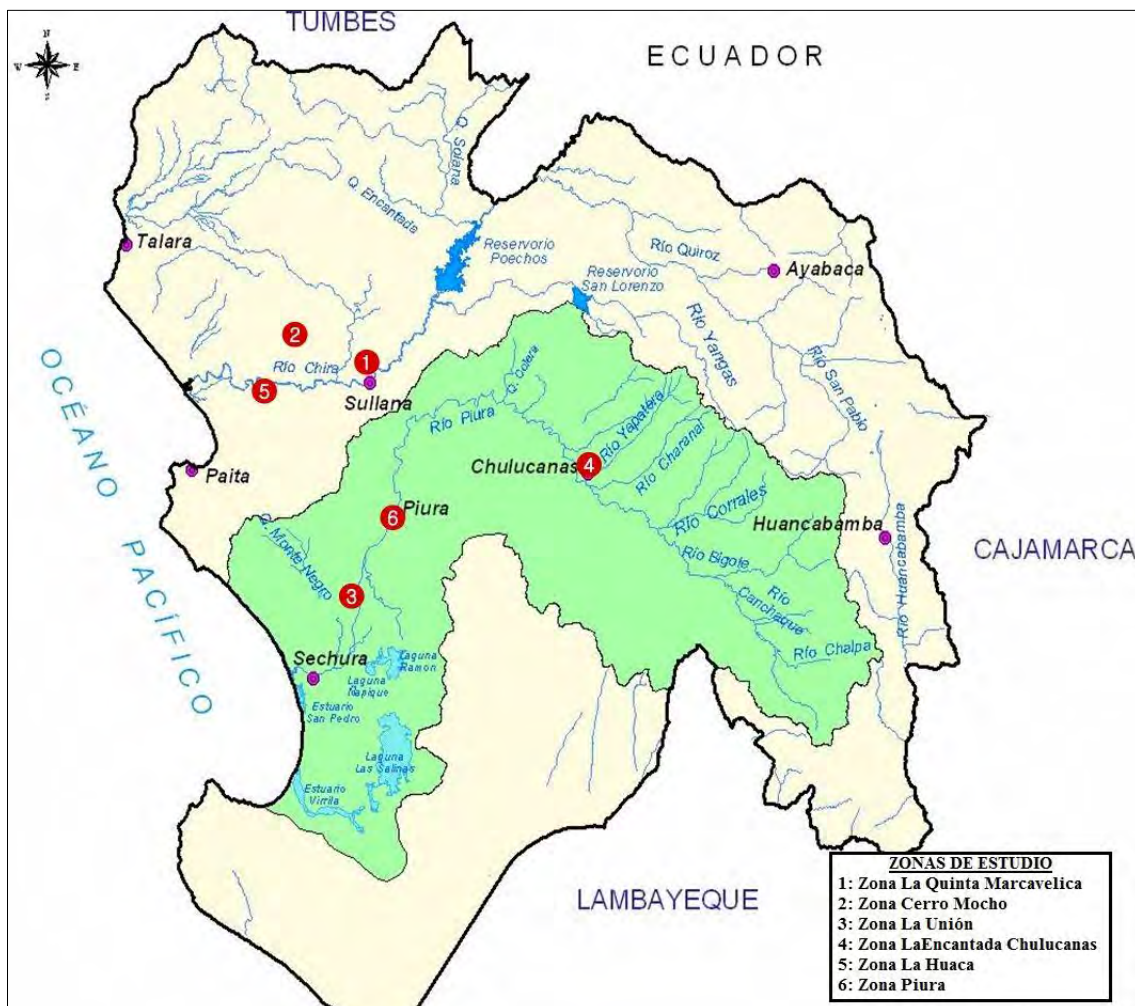
Otros lugares a mencionar son La Unión, en la que se encuentra arcilla procedente de cuencas sedimentarias de origen marino y por lo tanto con alto contenido de sales. También se tiene La Huaca cuyas arcillas proceden de depósitos marinos. En esta zona se observa mayor concentración de sales, distinguidas a simple vista en las arcillas durante la visita de campo.

Se tiene las canteras en Marcavelica y Cerro Mocho, pertenecientes al cuaternario reciente, y que tienen sales y montmorillonita con posibilidades de ser expansivas.

## 2.2 Zonas productoras de la Región Piura

En el presente trabajo se han elegido siete principales proveedores localizados en las zonas de estudio mostradas en la Figura 2.2.

**Figura 2.2: Mapa de las zonas de estudio**



Esta zonificación obedece a la concentración de los principales proveedores. Tal como se ha explicado anteriormente, se ubican cerca a la fuente de materia prima (ríos) y próximos a las vías de comercialización (carreteras). En todos los casos, las fuentes de materia prima se encuentran en el mismo lugar de trabajo.

En la zona de Piura, la materia prima extraída es seca y arenosa sobre todo en la superficie, lo que permite extracciones hasta los 0.60m de profundidad. El lugar donde se encuentran estas canteras es una zona desértica. El suelo es más compacto, dificultando así un poco su excavación. Estas tierras tienen un porcentaje de humedad muy bajo, pero tienen gran facilidad de absorción de agua.

Por el contrario, en las zonas de La Encantada, La Unión, Marcavelica, Cerro Mocho y La Huaca, las tierras utilizadas han sido antes empleadas en la agricultura, por lo que se encuentra un elevado porcentaje de raíces (refuerzo fibroso) y materia orgánica. Contienen, además, un elevado porcentaje de humedad debido a sus cercanías a ríos o canales de regadío. Son tierras fácilmente inundables, ya sea por fenómenos naturales, como lluvias o desbordes, o por riego.

### 2.3 Proceso de producción en la realidad local

En la Región Piura en general se comercializan ladrillos artesanales, semi-industriales e industriales. De éstos, sólo se fabrican localmente los artesanales y semi-industriales. Las empresas ladrilleras existentes en la región, están ubicadas en las provincias de Sullana, Piura, Paita y Morropón. El número aproximado de ladrilleras por cada provincia se detalla en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Distribución de productores de ladrillos en Piura (Fuente: Dirección Regional de Producción Piura)**

Provincia	Distrito	Nº de empresas
Morropón	Chulucanas	35
Morropón	Morropón	18
Morropón	Buenos Aires	25
Paita	La Huaca	10
Sullana	Cerro Mocho	15
Sullana	Marcavelica	22
Piura	La Unión	12

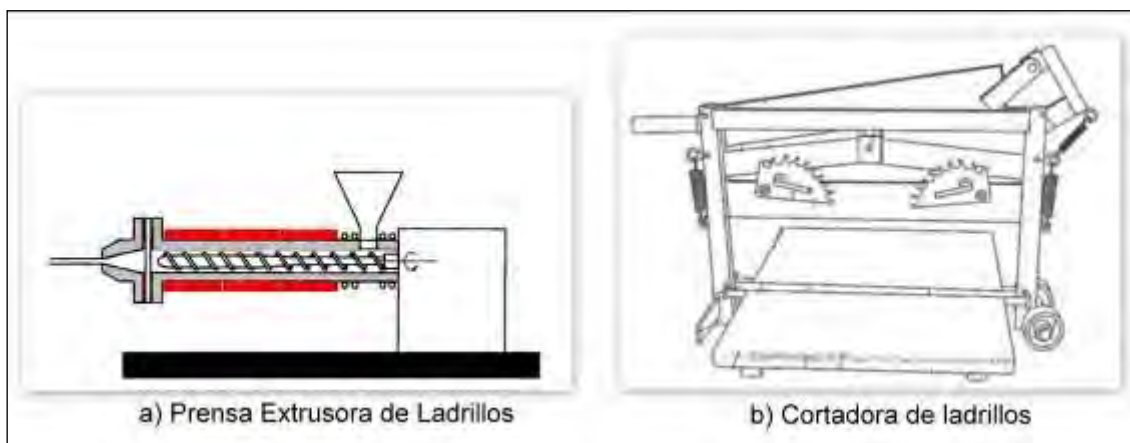
El proceso de producción de los ladrillos tanto artesanal y semi-industrial presenta en general características similares. La diferencia que se puede apreciar en el proceso de producción radica principalmente en el uso de herramientas y equipos en los ladrillos semi-industriales, mientras que en los ladrillos artesanales se emplean herramientas manuales. A continuación se describe en líneas generales el proceso de elaboración de las unidades de albañilería:

1. Ubicación de la cantera y extracción de la materia prima que por lo general se encuentra en el mismo lugar de trabajo. Para el caso de los ladrillos artesanales la materia prima es extraída con herramientas manuales como lampas o picos mientras que para el caso de los ladrillos semi-industriales se hace empleo de

una retroexcavadora. Las impurezas que puedan presentarse en la materia prima como raíces de plantas, restos de arbustos, son retiradas manualmente en el caso de las unidades artesanales. Para las unidades semi-industriales, la materia prima es trasladada a un molino por medio de fajas, donde es triturada en partículas pequeñas para luego pasar por una zaranda que separa los elementos extraños que pueda tener.

2. Teniendo la materia prima se procede a la preparación de la mezcla, agregando agua que, en algunos casos, la obtienen de los ríos que se encuentran cerca a la ubicación de la cantera, o es transportada al sitio de preparación mediante camiones cisterna. Algunos fabricantes de ladrillos añaden otros materiales como aserrín, cascarilla de arroz, cenizas de cascarilla de arroz o diatomita como en el caso de los ladrillos semi-industriales. En esta etapa se busca formar una pasta húmeda y uniforme con la que se moldearán posteriormente las unidades de albañilería. Esta pasta húmeda se deja reposando por un periodo de 24 horas.
3. En la actividad artesanal, el moldeo de las unidades de albañilería se realiza en gaveras hechas de madera, en las que se agrega arena en las paredes del molde para evitar que la mezcla se adhiera. Una vez llenado el molde con la mezcla, se retira el exceso con una regla de madera. En la actividad semi-industrial el moldeo se realiza usando una prensa extrusora y una cortadora (ver Figura 2.3), para darle las dimensiones requeridas a la unidad. La prensa extrusora traslada la mezcla por un tornillo sinfín hasta unas boquillas que definen la forma del ladrillo. La mezcla sale en una barra continua pasando por un camino de rodillos hasta la cortadora de donde el ladrillo sale con las dimensiones requeridas.

**Figura 2.3: Prensa Extrusora y Cortadora de Ladrillos**

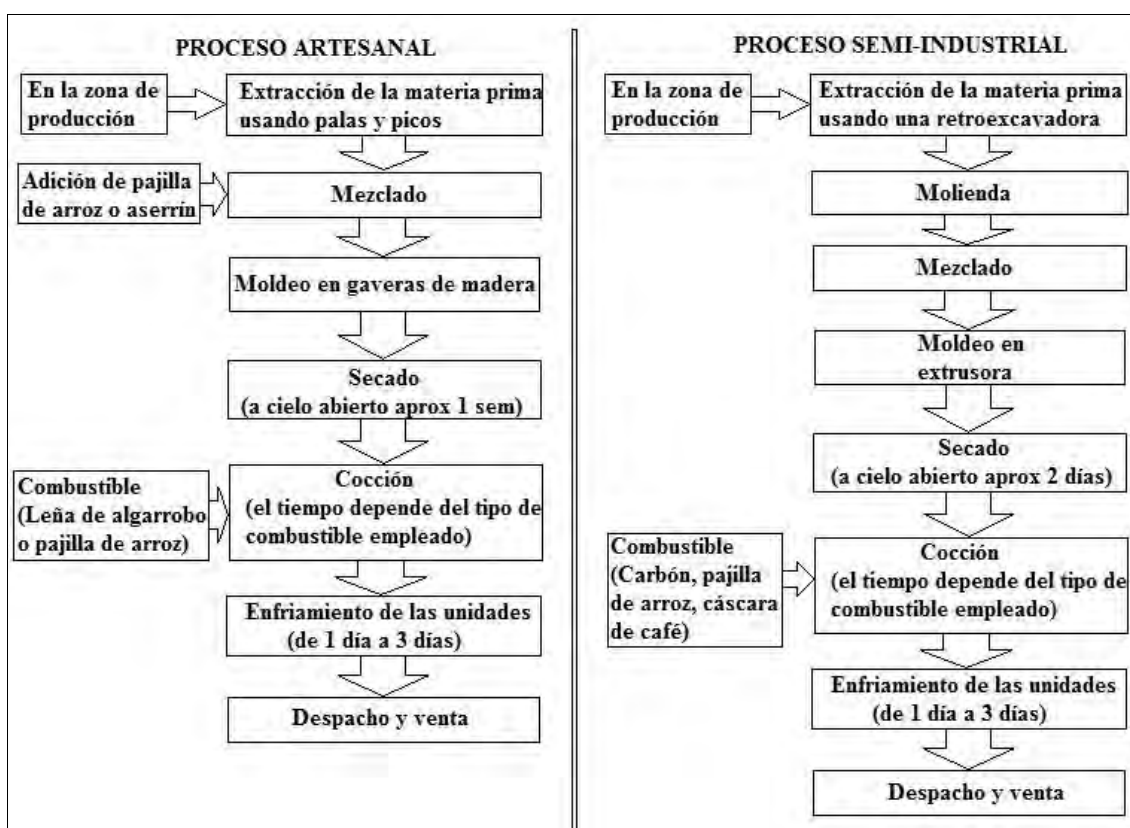


4. El secado de las unidades se hace a cielo abierto, tanto para la actividad artesanal como semi-industrial, sobre una superficie horizontal, permaneciendo durante 24 horas en una posición y luego cambiando de posición, hasta completar el tiempo de secado.
5. Finalmente las unidades son llevadas al horno para su cocción. El proceso de cocción no es el mismo en todas las ladrilleras ya que varía en el tipo de horno empleado, el tipo de combustible y el tiempo de cocción.

Todo este proceso se resume en la Figura 2.4, en la cual se muestra las diferencias existentes en algunos de los pasos del proceso de producción como por ejemplo en la preparación de la mezcla, pues en el proceso semi-industrial, la materia prima pasa por un proceso de trituración y zarandeo, asegurando la eliminación de elementos extraños como raíces de plantas, piedras, que no serán por completo extraídas en el proceso artesanal.

En el moldeo, el proceso artesanal usa un moldeo manual utilizando moldes de madera que no tienen tamaños estandarizados y difieren de un artesano a otro, mientras que el proceso semi-industrial utiliza un moldeo mecánico con el empleo de una extrusora y cortadora que permiten incrementar la densidad del ladrillo así como una mayor producción de ladrillos por día.

**Figura 2.4: Diagrama del proceso general de producción de ladrillos de arcilla (Elaboración Propia)**



A continuación se tratará el proceso de producción en las principales zonas ubicadas en la Figura 2.2.

### 2.3.1 Zonas de Marcavelica y Cerro Mocho

En la provincia de Sullana, la producción de las unidades de arcilla se ubica principalmente en las zonas de Marcavelica y Cerro Mocho.

En Marcavelica ubicada al noroeste de la ciudad de Sullana (ver Figura 2.5), la producción es netamente artesanal.

**Figura 2.5: Ubicación de la zona de Marcavelica**



Se han identificado alrededor de 22 hornos distribuidos en la zona conocida como La Quinta en Marcavelica. Si bien es cierto que existen 22 hornos artesanales, esto no indica necesariamente que sean 22 los dueños de cada uno de ellos, puesto que en algunos casos poseen hasta tres o más hornos.

Las zonas donde se ubican las hornillas artesanales se encuentran en campos abiertos, poco habitados, pero con abundante materia prima. El camino que lleva a estas zonas es una trocha carrozable.

Llegando a la zona de producción, se observa que tanto el lugar de extracción de la materia prima y el lugar donde son elaboradas las unidades de albañilería se encuentra en el mismo espacio. Es decir por un lado se realiza la extracción de la materia prima para la mezcla y unos metros más adelante se encuentran el lugar donde se realiza la mezcla con el agua, las adiciones, y el llenado de las gaveras. La distancia entre el horno de cocción y el lugar de preparación de las unidades de albañilería es de aproximadamente unos 20 metros. El agua que necesitan para la mezcla la obtienen de un noque ubicado en el lugar, la cual es transportada por un camión cisterna y tiene un precio determinado.

En otros casos, las canteras se encuentran cerca a tierras de cultivo, de arroz específicamente, y por lo tanto se ubican cercanas a canales de riego y no necesitan pagar por ella. No todos los dueños de las hornillas son dueños de la tierra que trabajan, sino que la alquilan, lo cual tiene influencia en el precio final de las unidades.

Los materiales que utilizan en la preparación de la mezcla los obtienen de canteras que se encuentran ubicadas en el mismo lugar de trabajo. Como se muestra en la Figura 2.6, su extracción se realiza con ayuda de palos o picos.



**Figura 2.6: Extracción de la materia prima en Marcavelica**



La materia prima no pasa por ningún proceso de cernido, molienda o selección. Para la mezcla utilizan arcilla, agua y en algunos casos adicionan determinadas cantidades de ceniza de la cascarilla de arroz a la mezcla (ver Figura 2.7) para disminuir la plasticidad, logrando que la mezcla no se adhiera a las manos facilitando el moldeo de las unidades. Los trabajadores utilizan un saco de ceniza de cascarilla de arroz por cada dos toneladas de arcilla, aproximadamente.

**Figura 2.7: Mezcla con ceniza de cascarilla de arroz en Marcavelica**



Toda esta mezcla la hacen de manera manual, ayudándose de palas. Luego que forman lo que ellos llaman la “bola”, la dejan reposando durante aproximadamente 24 horas y después proceden al moldeo de la unidad. Generalmente una “bola” rinde unas 800 a 1000 unidades.

Antes de empezar con el moldeo del ladrillo y luego de haber transcurrido las 24 horas de reposo, se realiza un segundo amasado de la mezcla hasta obtener la consistencia requerida, como se observa en la Figura 2.8.

**Figura 2.8: Segundo amasado de la mezcla antes de empezar el moldeo en las gaveras, después de 24 hrs de reposo en Marcavelica**



Las gaveras son moldes hechos de madera con dimensiones de 23x13x9cm y se limpian con arena suelta para evitar que se pegue la mezcla a los moldes. Cuando se realiza este proceso de moldeo (ver Figura 2.9), no hay una compactación en el llenado de los moldes, por lo que el resultado final puede contener exceso de poros. La nivelación se hace empleando una regla de madera, como se observa en la Figura 2.9c.

**Figura 2.9: Proceso de moldeo de las unidades de albañilería**



Posteriormente, las unidades se colocan en hiladas sobre el piso a la intemperie, primero horizontalmente como se observa en la Figura 2.10a, dejando espacio entre ellas para llevar a cabo el secado y luego de un día se procede a colocarlas de canto como se muestra en la Figura 2.10b.

**Figura 2.10: Proceso de secado de las unidades antes de la cocción**



Este proceso de secado dura ocho días, después de los cuales se traslada las unidades al horno, donde se acomodan para su cocción, de la forma mostrada en la Figura 2.11.

**Figura 2.11: Apilado de las unidades en el horno en Marcavelica**



La cocción de las unidades es un proceso que dura de 12 a 13 días en un horno que usa como combustible la cascarilla de arroz y el enfriamiento posterior toma un día más. Cuando el combustible utilizado es leña, el tiempo de quemado se reduce a 35 horas, y

el tiempo de enfriamiento demora 3 días. Se procede luego a su evacuación del horno y posterior transporte.

Según la ubicación que tenga la unidad dentro del horno durante la cocción, será la calidad final. Por ejemplo las unidades ubicadas en la parte superior son más claras y propensas a desmoronarse; las que se hallan en el medio tienen igual defecto y absorben humedad y las que se encuentran en la parte inferior suelen estar bien cocidas, pero a veces presentan manchas más claras y otras oscuras.

Las unidades que han recibido una buena cocción tienen el color encendido y cuando se les golpea emiten un sonido metálico. Las que están poco cocidas presentan un color pardo. Los ladrillos que se sobre quemaron, reciben el nombre de ladrillos “recoches” (ver Figura 2.12) y se presentan retorcidos y de color oscuro.

**Figura 2.12: Ladrillo “recoche” en Marcavelica**



Aunque el proceso de preparación, moldeo y cocción es muy similar en toda la zona, podría diferenciarse dos zonas en las cuales la mezcla tiene diferente tipo de fibra y se usa diferente combustible para la quema. En Marcavelica, por ejemplo, se usa sólo ceniza de cáscara de arroz como adición a la mezcla y la cascarilla de arroz como combustible, mientras que en la zona de Cerro Mocho, se adiciona cascarilla de arroz y aserrín, y el tipo de combustible utilizado en este caso es leña de algarrobo. En la Tabla 2.2 se muestran los elementos empleados en las zonas mencionadas.

**Tabla 2.2: Elementos empleados en Marcavelica y Cerro Mocho**

	<b>Marcavelica</b>	<b>Cerro Mocho</b>
<b>Combustible</b>	Cascarilla de arroz	Leña de algarrobo
<b>Fibra</b>	Ceniza de cascarilla de arroz	Aserrín y cascarilla de arroz
<b>Contenido de fibra (1/2ton)</b>	1 saco de ceniza	3 sacos de cascarilla y 2 de aserrín
<b>Tiempo de cocción</b>	12 días	1.5 días
<b>Tiempo de enfriamiento</b>	2 días	3 días
<b>Tipo de horno</b>	Abierto rectangular	Piramidal fijo

Los hornos son generalmente rectangulares cuando el combustible utilizado es la cascarilla de arroz. Las dimensiones de estos hornos varían de acuerdo a la cantidad de ladrillos a quemar (ver Figura 2.13), pero son aproximadamente de 15x6x1.80m.

**Figura 2.13: Perfil del horno rectangular en Marcavelica**



La cascarilla de arroz se coloca entre las filas de ladrillos después de apiladas, y se cubre la parte superior del horno hasta 30cm por encima de los ladrillos (ver Figura 2.14).

**Figura 2.14: Quema de ladrillos con cascarilla de arroz en Marcavelica**



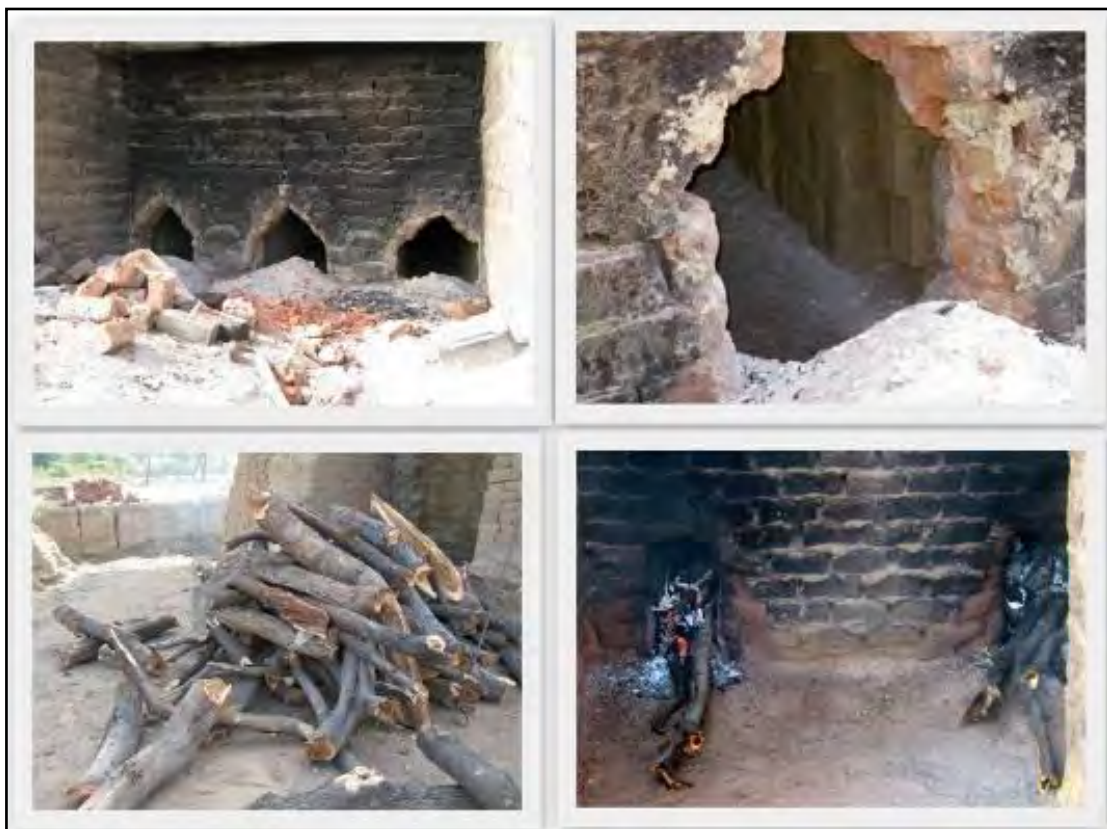
Los hornos que utilizan como combustible la leña, tienen una forma piramidal como la mostrada en la Figura 2.15.

**Figura 2.15: Horno para ladrillos usando leña como combustible en Cerro Mocho**



Se utilizan troncos de leña de algarrobo de 1.20m x 3” de espesor, empleándose 4000 de estos troncos con esas dimensiones para un millar de ladrillos. Este tipo de hornos presenta unas aberturas en los lados laterales opuestas como se ve en la Figura 2.16, donde se introducen los palos de leña para iniciar la cochura.

**Figura 2.16: Aberturas por donde se introduce la leña en el horno**



### 2.3.2 Zona La Unión

A la salida de la ciudad de Piura, sector sur oeste, se ubican las ladrilleras de tipo artesanal en la zona de La Unión (ver Figura 2.17).

**Figura 2.17: Ubicación de la zona de La Unión**



Algunas de las ladrilleras tienen un acceso más rápido a las carreteras por estar ubicadas muy cerca de ellas. Otras se encuentran ubicadas cerca de tierras de cultivo, teniendo fácil acceso a fuentes de agua y la arcilla.

El proceso de producción es muy similar al que se desarrolla en la zona de Marcavelica y en algunos se encuentran en el mismo sitio que las viviendas respectivas de los productores.

A la materia prima extraída de forma manual no se le aplica ningún procedimiento inicial de trituración y tamizado, por lo general, si se encontraran elementos extraños a simple vista serían retirados manualmente.

La materia prima se mezcla con agua y determinadas cantidades de cascarilla de arroz. Esta adición de cascarilla de arroz se realiza de acuerdo a cómo se vaya observando la consistencia de la mezcla, hasta lograr la plasticidad deseada.

La mezcla preparada se deja descansar durante 24 horas. Terminado este tiempo, se amasa nuevamente la mezcla, quedando así lista para ser moldeada.

El moldeo de las unidades se realiza en gaveras de madera con dimensiones de 23x13x9cm, en las cuales se esparce arena en el interior antes de colocar la mezcla. Con esto facilitan el desmolde de las unidades.

Las unidades ya elaboradas se depositan sobre el terreno natural para que puedan secarse correctamente (ver Figura 2.18), empleándose para ello un periodo de 8 días.

**Figura 2.18: Unidades de albañilería crudas en La Unión**



Concluido el periodo de secado de las unidades, se trasladan hacia el horno abierto rectangular que se muestra en la Figura 2.19, para la cocción respectiva. En La Unión, el tiempo de cocción dura aproximadamente 8 días, utilizando como combustible la cascarilla de arroz.

**Figura 2.19: Horno para cocción de ladrillos en La Unión**



### **2.3.3 Zona La Encantada**

La producción de ladrillos artesanales es una actividad muy desarrollada en Chulucanas. La zona de productora que concentra mayor número de productores es La Encantada (ver Figura 2.20).



**Figura 2.20: Ubicación de la zona La Encantada**



El proceso de elaboración de las unidades es muy similar al empleado en la provincia de Sullana, específicamente en la zona de Cerro Mocho.

El material es extraído de las canteras, que se encuentran en la misma zona de trabajo, por medio de picos y palas. De igual forma que en las zonas mencionadas anteriormente, la materia prima que se extrae no pasa por ningún proceso de selección, trituración o zarandeo.

En el proceso de preparación de la mezcla, se adiciona cascarilla de arroz para lograr una mejor plasticidad.

La mezcla se deja reposando durante 24 horas (ver Figura 2.21), tiempo después del cual se procede nuevamente a su amasado para llevarlo a las gaveras de madera (con dimensiones de 23x13x9cm) donde se moldearán para formar las unidades. Aquí no se aplica ninguna forma de compactación y para la nivelación se utiliza una regla de madera.

**Figura 2.21: Mezcla en reposo en zona La Encantada**



Una vez moldeadas las unidades se trasladan a un área horizontal donde se colocan sobre el piso para su correspondiente secado. Las unidades son colocadas en hileras separadas en una determinada posición durante dos días para luego cambiar nuevamente de posición hasta terminar el periodo de secado que dura 7 días.

Finalmente las unidades son trasladadas hacia el horno de forma piramidal muy similar al utilizado en la zona de Cerro Mocho (ver Figura 2.15), utilizando como combustible leña. El periodo de cocción dura 36 horas, luego del cual, se dejan enfriar las unidades por alrededor de 2 días para su posterior embarque a los camiones.

### 2.3.4 Zona La Huaca

Otra de las zonas visitadas fue La Huaca, ubicada en la provincia de Paita (ver Figura 2.22). La mayoría de ladrilleras se ubican cerca a la carretera y se han realizado caminos que son tipo trocha carrozable que llevan desde las ladrilleras a la carretera principal, haciendo más accesible el ingreso y salida de los camiones que transportan las unidades ya terminadas y también a los vehículos que transportan agua para la mezcla.

**Figura 2.22: Ubicación de la zona La Huaca en el departamento de Piura**



Tal como se mencionó en el punto 2.1, el área corresponde a depósitos marinos y debido a esto se pudo ver que la materia prima utilizada es bastante salitrosa. Es observable a simple vista pues se ven grandes manchas de salitre en todo el terreno como se muestra en la Figura 2.23.

**Figura 2.23: Área con manchas de salitre en La Huaca**



Como proceso de selección de la materia prima se usa la selección visual de la arcilla libre que no tenga gran cantidad de salitre; pero toda el área utilizada como cantera es salitrosa (ver Figura 2.24).

**Figura 2.24: Materia prima con vetas de salitre en la zona de la Huaca**



La extracción de la materia prima se realiza con herramientas manuales y en el mismo lugar donde se realiza la preparación de la mezcla. La materia prima que va a ser utilizada no pasa por un proceso de trituración y cernido, por lo que los residuos que estén presentes serán retirados con los mismos equipos manuales.

A la materia prima se agrega, en algunos casos, ceniza de cascarilla de arroz, como se hace en la zona de Marcavelica, añadiéndose posteriormente agua. Dependiendo de la cantidad que se esté preparando se agregará más o menos ceniza, dependiendo de la consistencia que vaya adquiriendo la mezcla. Dicha mezcla se deja reposando por un periodo de 24 horas.

Cumplido este periodo, se vuelve a amasar la mezcla y posteriormente se deposita en los moldes de madera que poseen las dimensiones de 23x13x9cm, utilizando una regla de madera para la nivelación.

Las unidades moldeadas se depositan en una superficie horizontal, formando hileras, para el proceso de secado, llevándose a cabo durante siete días al aire libre. Durante los dos primeros días las unidades mantienen una posición completamente horizontal sobre su mayor longitud, posteriormente cambian de posición sobre su menor longitud, completando el periodo de secado. Luego son trasladadas hacia el horno para su cocción respectiva.

Los hornos utilizados en esta zona son igualmente de forma piramidal, utilizando como combustible la leña de algarrobo para un tiempo de 36 horas de cocción de las unidades y 3 días de enfriamiento.

### 2.3.5 Zona Piura

En la provincia de Piura ubicamos ladrilleras tipo artesanal y tipo semi-industrial, de las cuales se mostrará a continuación, el proceso de elaboración de las unidades.

#### 2.3.5.1 Ladrillera artesanal

Saliendo de la ciudad, hacia el oeste, podemos encontrar lugares de producción de unidades artesanales. Dichos lugares se encuentran cercanos a la carretera, facilitando la comercialización de los ladrillos.

La extracción de la materia prima, se realiza en el mismo lugar de trabajo de preparación de la mezcla, utilizando herramientas manuales y no tiene un procedimiento previo de trituración y zarandeo. La mezcla que va a ser utilizada en la elaboración de los ladrillos, contiene arcilla y agua adicionando arena y cascarilla de arroz para mejorar la consistencia de la pasta.

El amasado de la mezcla es realizado manualmente por los trabajadores con palanas e incluso con los pies (ver Figura 2.25).

**Figura 2.25: Amasado de la mezcla en ladrillera artesanal de Piura**



Los trabajadores consideran lista la mezcla cuando adquiere la consistencia de “una masa para torta”. Esta mezcla queda reposando por un periodo de 24 horas (ver Figura 2.26), después de cual pasa a la etapa de moldeo.

**Figura 2.26: Mezcla en reposo en ladrillera artesanal de Piura**



La mezcla es colocada en moldes de madera, y es enrasada por una regla de madera. Así las unidades crudas ya moldeadas son depositadas en un terreno horizontal para su respectivo secado cambiando de posición después de dos días como se observa en la Figura 2.27. El tiempo de secado que se considera en esta ladrillera es de siete días.

**Figura 2.27: Secado de las unidades crudas en ladrillera de Piura**



Terminado el periodo de secado las unidades se trasladan hacia el horno (ver Figura 2.28) en el cual se emplea como combustible troncos de leña sin dimensiones específicas. El periodo de cocción en este horno es de 36 horas.

**Figura 2.28: Horno para cocción en ladrillera artesanal Piura**



### 2.3.5.2 Ladrillera semi-industrial

Las ladrilleras semi-industriales tienen la característica de dar como resultados unas unidades maquinadas cuya apariencia es más lisa que las unidades artesanales, y que deberían tener mejores resultados en sus propiedades.

La materia prima a ser utilizada en la elaboración, es extraída por medio de una retroexcavadora y llevada a su lugar de almacenamiento mediante volquetes. Para una ladrillera de tipo semi-industrial, la arcilla no se extrae diariamente sino que se almacenan cantidades para un periodo de seis meses, equivalente a mil cubos. La materia prima se trae del almacén el día que empiezan con la producción de los ladrillos para empezar el tratamiento.

En la ladrillera El Tallán, la preparación de la mezcla incluye tres tipos de materia prima en las siguientes proporciones: 30% de arcilla magra, la cual posee muy poca plasticidad, 20% de arcilla inorgánica de alta plasticidad y 50% de diatomita, producto que es explotado en zonas cercanas a Bayóvar. Las proporciones mencionadas se basan en resultados obtenidos de pruebas empíricas, que han sido realizadas teniendo como parámetro de control la fuerza requerida en la máquina de extrusión para su correcto funcionamiento. Llegándose a determinar que la fuerza a utilizar es de 15kg/cm<sup>2</sup> para las proporciones establecidas logrando así una disminución en el desgaste de la máquina y en el uso de combustible.

En esta ladrillera, los materiales empleados en la mezcla tienen un control periódico evaluándose en ellos la plasticidad, el pH y las sales totales, sin embargo se desconoce si hay registros organizados de esta información.

La mezcla en seco pasa al molino por medio de fajas (ver Figura 2.29), donde es triturada en partículas pequeñas. En este caso no hay un tamizado final de la materia prima.

**Figura 2.29: Proceso de trituración de la materia prima en ladrillera semi-industrial**



Luego de este proceso de trituración la materia prima es llevada por una cinta transportadora hasta una tolva con eje helicoidal donde es mezclada con agua (ver Figura 2.30), usándose de 15% a 16% de agua en peso.

**Figura 2.30: Mezcla de materia prima con agua en ladrillera semi-industrial**



Seguidamente, la pasta conseguida se traslada por una laminadora de rodillos que lleva hacia a la prensa extrusora y es arrastrada por un tornillo sinfín hasta unas boquillas que definen la forma del ladrillo, esta salida se realiza por la presión de la mezcla sobre la boquilla (ver Figura 2.31).

**Figura 2.31: Proceso de moldeo en ladrillera semi-industrial**



La barra continua de mezcla que se obtiene, pasa por un camino de rodillos hasta la cortadora, donde el ladrillo sale con las dimensiones requeridas (ver Figura 2.32).

**Figura 2.32: Corte de unidades crudas en ladrillera semi-industrial**



Las unidades cortadas y separadas siguen por el camino de rodillos de donde son recogidas para ser transportadas al área de secado, donde se cubren con esteras para



hacer el secado menos violento durante 24 horas. Pasado este tiempo las unidades cambian de posición, las unidades que estaban en la parte superior pasan a la parte inferior y viceversa (ver Figura 2.33).

**Figura 2.33: Secado de las unidades de arcilla en ladrillera El Tallán**



Finalmente las unidades son trasladadas al horno para su cocción. El horno empleado es un horno tipo Hoffman abierto por lo que en la parte superior de cada sección de quema de este tipo de horno se coloca una pasta de barro con ladrillos como en la Figura 2.34, para proveer el mayor hermetismo posible.

**Figura 2.34: Parte superior del horno de ladrillera El Tallán sellado con barro**



En el interior del horno se encuentran unos ductos que permiten la distribución del fuego mediante la circulación del aire, alimentando la combustión que ingresa desde la

parte superior. Es por ello que las unidades se colocan de tal forma que quede un espacio libre entre ellas.

El combustible utilizado es carbón mineral y aserrín, usándose las cantidades de 150 toneladas de carbón y 200 toneladas de aserrín al mes. El tiempo de quemado de las unidades de arcilla es de 8 días. El horno tipo Hoffman que se emplea en esta ladrillera se muestra en la Figura 2.35.

**Figura 2.35: Horno tipo Hoffman abierto en ladrillera El Tallán**



#### **2.4 Resumen de los procesos de producción en la Región**

Cada zona que ha sido estudiada presenta características similares y diferentes en el proceso de fabricación de las unidades de arcilla.

Entre las similitudes se puede mencionar el proceso de selección de la materia prima que es netamente manual, con excepción de la ladrillera El Tallán que es de tipo semi-industrial, por lo tanto se hace uso de maquinaria para extracción de la materia prima.

También se observa que para el proceso de moldeo en las ladrilleras artesanales, se emplean gaveras de madera que se limpian interiormente con arena antes de colocar la

mezcla para evitar que se adhiera a las paredes y el proceso de secado tiene una duración de aproximadamente siete días.

En la Tabla 2.3, se presenta un resumen de las etapas del proceso de producción en cada una de las zonas estudiadas.

**Tabla 2.3: Resumen del proceso de producción en cada zona estudiada**

ZONAS ESTUDIADAS	ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN				
	Selección de la Materia Prima	Preparación de la Mezcla	Moldeado	Secado	Cocción
<b>La Quinta Marcavelica</b>	Selección Manual	Se agrega ceniza de cascarilla de arroz.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 8 días.	Se utiliza como combustible la cascarilla de arroz, tardando 13 días la cocción.
<b>Cerro Mocho</b>	Selección Manual	Se agrega aserrín o cascarilla de arroz.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 6 días.	Se utiliza como combustible leña de algarrobo, tardando 36 horas la cocción.
<b>La Unión</b>	Selección Manual	Se agrega cascarilla de arroz.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 8 días.	Se utiliza como combustible la cascarilla de arroz, tardando 8 días la cocción.
<b>La Encantada</b>	Selección Manual	Se agrega cascarilla de arroz.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 7 días.	Se utiliza como combustible leña de algarrobo, tardando 36 horas la cocción.
<b>La Huaca</b>	Selección Manual	Se agrega cascarilla de arroz.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 7 días.	Se utiliza como combustible leña de algarrobo, tardando 36 horas la cocción.
<b>Piura</b>	Selección Manual	Se agrega ceniza de cascarilla de arroz y arena.	Se realiza en gaveras de madera.	Al aire libre durante 7 días.	Se utiliza como combustible leña de algarrobo, tardando 36 horas la cocción.
<b>El Tallán</b>	Triturado	Se agrega diatomita.	Se realiza mediante una prensa extrusora y cortadora.	Recubiertas con esteras durante 2 días.	Se utiliza como combustible carbón mineral y aserrín, tardando 8 días la cocción.

En la zona de La Quinta Marcavelica predomina el uso de la cascarilla de arroz, la que es utilizada como adición a la mezcla en forma de ceniza y como combustible para la cocción de las unidades. La ceniza de la cascarilla también se adiciona en la zona de Piura junto con arena.

En Cerro Mocho se usan dos tipos de adiciones para mejorar la plasticidad de la mezcla, la cascarilla de arroz o el aserrín.

Para las zonas de La Unión, La Encantada y La Huaca, la cascarilla de arroz es adicionada a la mezcla para mejorar la plasticidad de la misma, pero solo para la zona de La Unión es empleada también como combustible.

La leña de algarrobo es otro tipo de combustible usado en la producción de unidades de arcilla, siendo mayormente empleada en las zonas de Cerro Mocho, La Encantada, La Huaca y Piura.

Generalmente cuando el combustible empleado es la leña de algarrobo, el tiempo de cocción es de 36 horas y si se utiliza la cascarilla de arroz, la cocción demora entre 8 y 13 días, como ocurre en La Unión y Marcavelica respectivamente.

Para la ladrillera semi-industrial El Tallán, se tiene otro tipo de tratamiento, la adición utilizada es la diatomita que contribuye a la reducción del calor en las unidades y el moldeo se realiza en una prensa extrusora, empleando un tiempo de secado de dos días. Finalmente el proceso de cocción demora unos 8 días empleando como combustible carbón mineral y aserrín.

## **Capítulo 3**

### **Caracterización de los ladrillos en la Región Piura**

#### **3.1 Descripción de los ensayos**

Para la realización de los ensayos, se han seleccionado unidades enteras representativas de un determinado lote como está especificado en la Norma Técnica Peruana 399.613 (2005).

La norma indica los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para uso en albañilería estructural y no estructural, estableciendo los métodos de ensayo para determinar la variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión, densidad, módulo de rotura, absorción máxima, coeficiente de saturación, succión y eflorescencia de los ladrillos de arcilla usados en albañilería.

##### **3.1.1 Medida de la dimensión:**

Para este ensayo se han seleccionado 10 unidades enteras y secas, por cada proveedor. Las unidades han sido medidas individualmente con una regla de acero graduada de 30cm, con divisiones de un milímetro. La medición se hizo siguiendo lo establecido en la NTP 399.613, haciendo mediciones individuales de ancho, longitud y altura.

La medición de las dimensiones nos permitirá conocer la variación dimensional de las muestras con respecto a las dimensiones de la unidad nominal. De acuerdo a Gallegos (2005), esta variación dimensional se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores que las convenientes que son de 10mm a 12mm, lo cual conduciría a una albañilería menos resistente en compresión.

##### **3.1.2 Medida del alabeo:**

Siguiendo lo establecido en la NTP 399.613, para la medición del alabeo se empleó una cuña de madera con divisiones de 1mm, de 60mm de longitud por 12.5mm de espesor en un extremo, el cual va reduciéndose hasta llegar a cero en el otro extremo.

Esta medida se efectuó sobre las 10 unidades utilizadas en el ensayo anterior. Cada unidad colocada sobre una superficie de vidrio plana rectangular de 400mm x 450mm y se eliminó el polvo adherido a las superficies con una brocha.

Para la medición del alabeo en superficies cóncavas, se hizo uso de una regla de acero de 30cm, la cual se colocó diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida, y se escogió la distancia mayor de la superficie del espécimen al borde recto de la regla de acero, esta distancia se registró usando la cuña de madera.

Para el caso de las superficies convexas, la norma establece colocar el espécimen en contacto con una superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes a dicha superficie. Para este caso se hizo uso de la regla de acero posicionándola sobre la superficie convexa y midiendo directamente el alabeo en los extremos diagonales con la cuña de madera.

### **3.1.3 Absorción**

Se ensayaron cinco especímenes que se secaron previamente de la forma especificada en el ensayo de compresión. Los especímenes ya preparados fueron pesados en una balanza con una capacidad no menor a 2000g y con una aproximación de 0.5g.

Se realizaron pruebas de sumersión tanto en frío como en caliente. Las unidades fueron sumergidas en agua fría durante un periodo de 5 y 24 horas en agua potable. Cumplido este periodo, cada una de las unidades fue retirada y se limpió el agua superficial con un paño, pesándola a continuación siempre dentro de los cinco minutos siguientes luego de haber sido retirados. Estos mismos especímenes en el estado de saturación en el que fueron retirados, son utilizados para la prueba de sumersión en agua caliente.

Los especímenes se sumergieron en agua limpia potable cuidando que el agua circulara libremente por todos los especímenes. Se calentó hasta el punto de ebullición en una hora y se hirvió por el tiempo especificado de 5 horas, dejando enfriar posteriormente a temperatura ambiente. Cada espécimen fue retirado y se limpió el agua superficial de cada uno de ellos, pesándolos dentro de los cinco minutos después de retirarlos del agua.

### **3.1.4 Succión**

En este ensayo se utilizaron dos barras de acero no corrosible de sección rectangular como se indica en la NTP 399.613, que sirvieron de soporte para los ladrillos y una bandeja de 300mm x 200mm.

Antes de proceder al ensayo de succión, se realizó un método recomendado en la norma para controlar el agua que se agregará a la bandeja. Éste se hizo controlando que una unidad previamente sumergida en agua por un periodo de 3 horas, proporcionara un desplazamiento de 3mm de agua. Se ensayaron 5 unidades preparadas como se especifica en el ensayo a compresión.

La posición en la bandeja se ajustó fijando una unidad referencial saturada encima de los soportes y agregando agua hasta que el nivel fuera 3mm. Hecho esto se procede a colocar el espécimen de ensayo sobre los soportes contando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el periodo de contacto de 1min el nivel del agua se mantenía agregando agua con una botella si era necesario. Finalizado el tiempo de 1 minuto, el espécimen es retirado y se seca el agua superficial con un paño húmedo, volviéndolo a pesar dentro de los siguientes 2 minutos.

### **3.1.5 Eflorescencia**

En este ensayo se requirieron 10 unidades que se secaron en el horno de 100°C a 110°C por un periodo de 24 horas. Estas 10 unidades se distribuyeron en 5 pares, de manera que cada par tenía en lo posible la misma apariencia.

Se colocó un espécimen de cada uno de los cinco pares, con un extremo parcialmente sumergido en agua destilada en aproximadamente 25mm por 7 días en contenedores, separados cada uno de los especímenes con un espaciamiento de 5cm. Durante estos 7 días se verificaba diariamente el nivel del agua, agregando si era necesario agua haciendo uso de una botella la cual tenía un orificio en la tapa.

Terminado este período de una semana, las unidades fueron retiradas y puestas a secar nuevamente por un periodo de 24 horas, luego del cual se examinó y comparó cada par.

### **3.1.6 Resistencia a la compresión**

A diferencia de la NTP 399.613:2005 que especifica el empleo de un horno ventilado a una temperatura de 110°C a 115°C, se usó el horno del laboratorio de Suelos que es un horno cerrado y que se mantiene a una temperatura constante de 100°C a 110°C. Se ensayaron 5 unidades por lote y por proveedor, previamente secadas en el horno, por más de 24 horas y después de dos pesadas sucesivas en un intervalo de 4hrs sin incremento o pérdida de peso. El enfriamiento se dio en un periodo aproximadamente de 4 horas como mínimo en un ambiente libre de corrientes de aire, y sin apilar las unidades.

El ensayo de compresión se hizo sobre unidades enteras refrentadas con yeso. Para el refrentado con yeso, se utilizó una superficie de madera, sobre la cual se colocó una membrana de plástico. Encima de esta membrana de plástico se distribuyó la capa de yeso con un espesor tal que nivelara la superficie de la unidad. Este procedimiento se hizo para ambas caras de la unidad. Terminado el refrentado se dejaron reposando las unidades durante 24 horas antes de los ensayos.

Como las unidades a ensayar han sido unidades enteras se efectuó la corrección en el valor promedio de resistencia como lo indica la norma.

### 3.2 Análisis de resultados

#### 3.2.1 Medida de la dimensión:

**Tabla 3.1: Valores de las dimensiones de las unidades de arcilla**

UBICACIÓN DIMENSIONES	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	El Tallán
L prom. (cm)	21,77	21,53	19,76	20,08	21,42	21,49	23,22
L mín. (cm)	21,28	21,25	19,40	19,60	21,16	21,21	23,16
L máx. (cm)	21,90	22,28	20,30	20,43	22,01	21,89	23,28
D nominal (cm)	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	24,00
V (%)	5,35	6,39	14,09	12,70	6,87	6,57	3,25
A prom (cm)	12,23	12,23	10,34	11,05	12,21	12,25	11,87
A mín. (cm)	11,93	11,90	10,13	10,90	11,95	12,04	11,83
A máx. (cm)	12,73	12,65	10,70	11,30	12,43	12,43	11,94
D nominal (cm)	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,00
V (%)	5,92	5,92	20,46	15,00	6,08	5,77	1,08
H prom (cm)	8,57	7,75	7,34	7,33	8,55	8,37	8,79
H mín. (cm)	8,35	7,48	7,03	7,20	8,36	8,15	8,66
H máx. (cm)	8,88	7,95	7,53	7,53	8,86	8,63	8,93
D nominal (cm)	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
V (%)	4,78	13,89	18,44	18,56	5,00	7,00	2,33

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de las dimensiones expresadas en centímetros y la variación dimensional expresada en porcentaje, para el largo, ancho y altura.

La variación dimensional (V%) es la diferencia entre la unidad promedio con respecto a la unidad nominal expresada en porcentaje y se determina con la fórmula mostrada a continuación:

$$V(\%) = \frac{D_{\text{nominal}} - D_{\text{prom}}}{D_{\text{nominal}}} * 100$$

Donde:

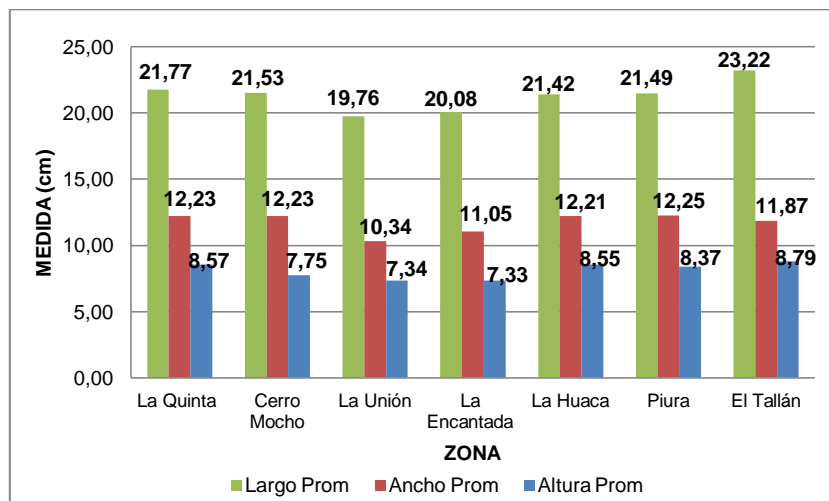
D<sub>nominal</sub>: Dimensión nominal especificada por el fabricante.

D<sub>prom</sub>: Dimensión promedio

Analizando los resultados expresados en centímetros y graficados en la Figura 3.1, se observa que están dispersos, sobretodo en la dimensión del largo donde los valores promedio obtenidos varían bastante entre ellos. Teniendo en cuenta que estos resultados corresponden a cada una de las zonas estudiadas se puede suponer, que son consecuencia de la manera en que se realiza el proceso de moldeo en cada zona. Porque si bien es cierto que el proceso es similar en las zonas artesanales, también influye cómo los trabajadores manipulan las unidades después del moldeo, cuando las trasladan hacia el sitio donde secarán y cómo las depositan sobre el terreno.

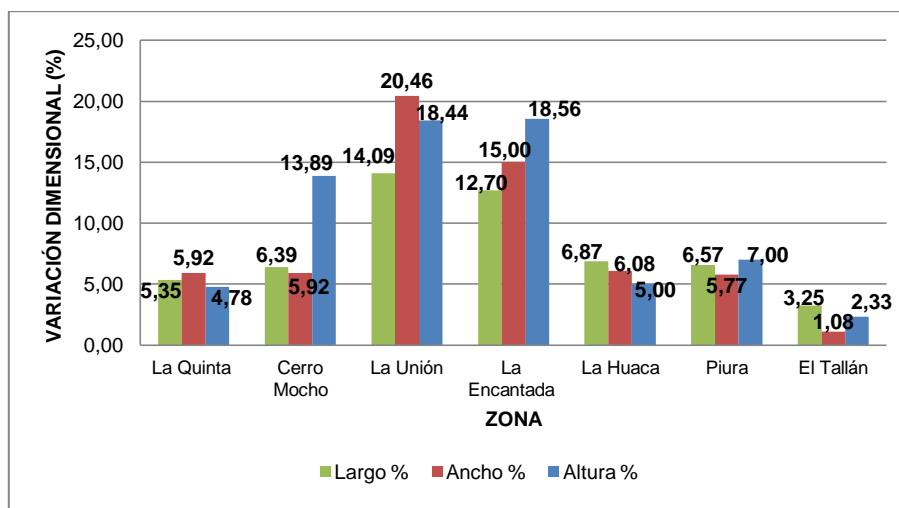


**Figura 3.1: Valores promedio de las unidades de arcilla, según la zona de procedencia**



De la misma forma, al analizar la variación dimensional, que muestra los resultados expresados en porcentaje como en la Figura 3.2, se observa nuevamente dispersión entre los resultados, observándose, en este caso, una mayor variabilidad concentrada en las dimensiones de ancho y altura. Esto se explicaría porque las medidas de ancho y altura son más pequeñas, lo que supone un mayor valor en términos de porcentaje.

**Figura 3.2: Valores de variación dimensional en porcentaje, según la zona de procedencia**

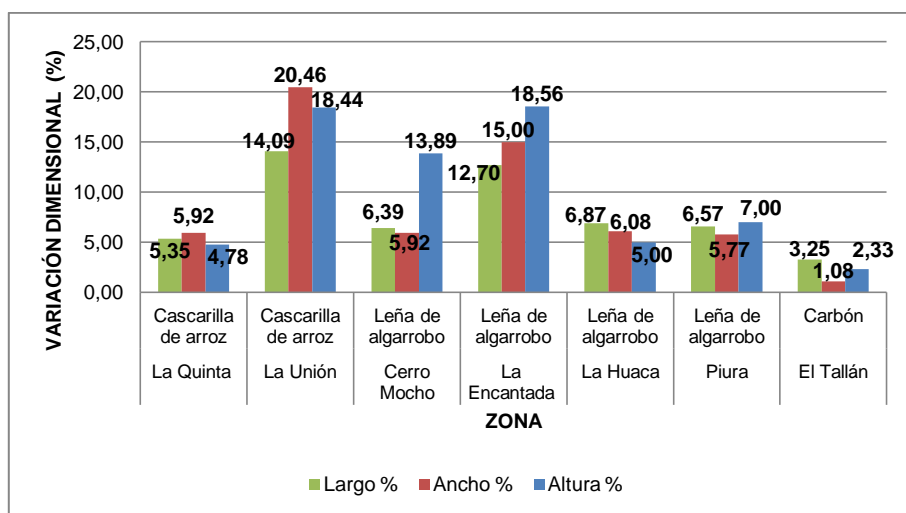


Esto podría deberse al modo en que se desmoldan las unidades. Al parecer, las unidades se deforman más cuando se desprenden de la gavera para ser colocados sobre el tendal, ya que el enrase en el molde no es preciso y tampoco se tiene un proceso de compactación de la mezcla dentro de los moldes.

También hay que tomar en cuenta que en el proceso de cocción se produce un cambio de volumen como consecuencia del aumento de temperatura. Al analizar la variabilidad dimensional en función al proceso de cocción como se ha graficado en la Figura 3.3, no

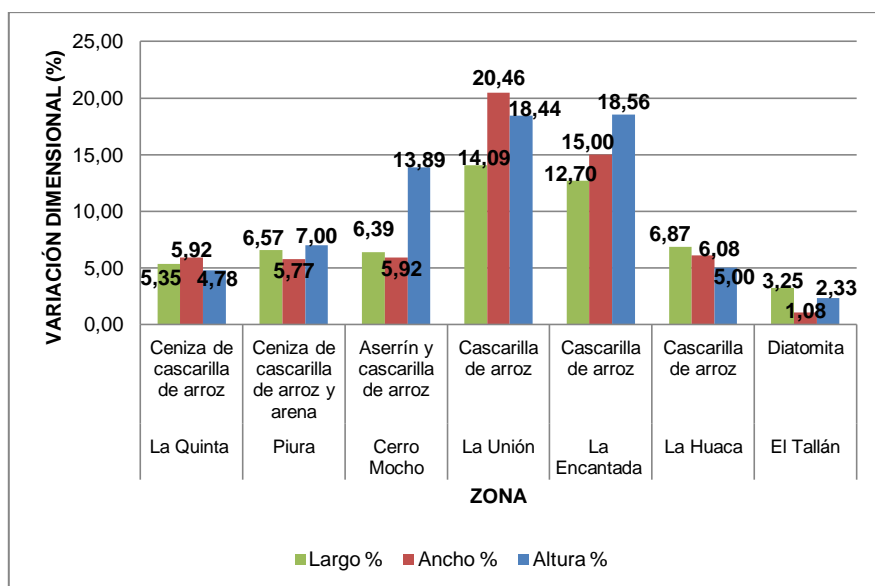
se ve una influencia clara sobre los resultados, aun cuando el tipo de combustible utilizado varía en las zonas.

**Figura 3.3: Variación dimensional según tipo de combustible utilizado**



Tampoco se observa influencia por el tipo de adición a la mezcla (ver Figura 3.4). Por ejemplo para las zonas de La Unión, La Huaca y La Encantada donde se agrega cascarilla de arroz a la mezcla, la tendencia de la variación dimensional no es constante, a pesar de utilizar el mismo tipo de adición.

**Figura 3.4: Variación dimensional según tipo de adición utilizada**



Probablemente la causa pueda ser la naturaleza de la materia prima. Para dicha comprobación se necesitaría realizar un estudio más detallado de la materia prima realizándose ensayos sobre la mezcla para determinar su composición mineralógica, lo cual sería motivo de otra investigación fuera del presente trabajo.

En el caso de los ladrillos semi-industriales las variaciones que se pueden observar son mínimas. En la etapa de secado podría verificarse que las unidades no sufren mayores

variaciones cuando son depositadas en el tendal, puesto que el moldeo se produce en las prensas extrusoras y no tienen que ser desmoldadas de gaveras, como sí sucede en las unidades artesanales.

Aunque en los resultados obtenidos en el muestreo realizado en 1995 por García Rodríguez no se han evaluado las mismas ladrilleras, se puede verificar que los valores obtenidos son bastante menores que los obtenidos en el presente trabajo. Un resumen de dichos resultados se muestra de forma general en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Comparación de resultados para variación dimensional**

Tipo de Ladrillo	Muestreo 1995 (García)			Muestreo actual (2011)		
	Var. Largo (%)	Var. Ancho (%)	Var. Altura (%)	Var. Largo (%)	Var. Ancho (%)	Var. Altura (%)
Corriente	1,33	2,66	4,66	8,56	9,87	11,27
Semi KK	1,73	3,09	4,00	-	-	-
KK	1,56	2,43	3,38	3,25	1,08	2,33

### 3.2.2 Medida del alabeo:

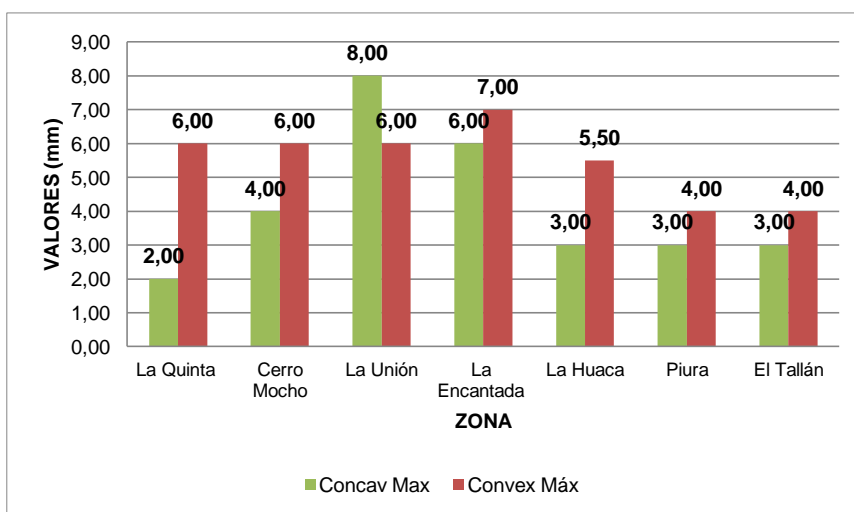
El alabeo se presenta como consecuencia de dos condiciones: la materia prima y el proceso de producción según Tabla 1.2 y 1.3 respectivamente.

**Tabla 3.3: Valores obtenidos para evaluar concavidad y convexidad**

UBICACIÓN ALABEO	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	El Tallán
Concav máx. (mm)	2,00	4,00	8,00	6,00	3,00	3,00	3,00
Convex máx. (mm)	6,00	6,00	6,00	7,00	5,50	4,00	4,00

Los resultados obtenidos para las ladrilleras artesanales se encuentran dentro de los límites establecidos por el RNE, pues no superan el límite de 8 mm (ver Tabla 3.3 y Figura 3.5).

**Figura 3.5: Valores máximo de alabeo para concavidad y convexidad.**



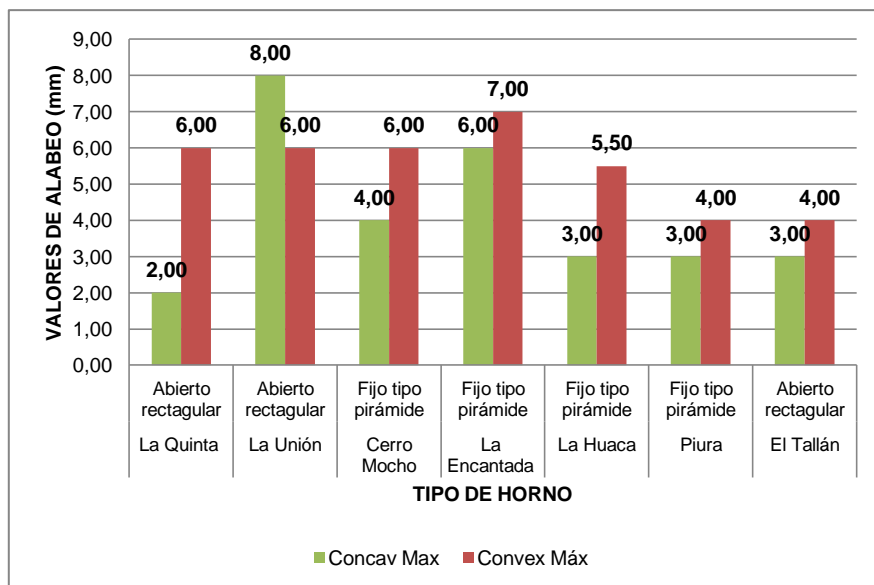
De la figura 3.5 se observa una tendencia a la convexidad. Llama la atención que las unidades producidas con cierta tecnificación presentan también convexidad, aunque con límites máximos significativamente menores que en los otros casos.

El alabeo como consecuencia del proceso de producción, podría ser resultado en primer lugar, del proceso de desmoldeo sobretodo en las ladrilleras artesanales, ya que en éstas se utilizan gaveras de madera como moldes para las unidades. Cuando las unidades se desmoldan directamente sobre el terreno, podría producirse deformaciones que llevan al alabeo, como que las esquinas se queden pegadas al molde. Otro factor que influiría sería el mismo terreno sobre el cual se depositan las unidades para su secado, ya que puede presentar irregularidades que podrían contribuir a generar alabeo en las unidades. Además, siendo la superficie completa, la unidad sólo puede airearse en la parte superior, manteniendo una condición de humedad variable en la altura de la unidad. Esto haría que la zona más seca se contraiga primero, posibilitando la convexidad.

En las ladrilleras que usan procesos mecánicos para el moldeo, podría influir la forma en que se realiza la manipulación de las unidades crudas. Por ejemplo, para el caso de la ladrillera semi-industrial analizada, las unidades ya cortadas son cargadas y colocadas sobre una mesa horizontal, apilándose en filas de tres, para posteriormente ser cargadas en un vehículo con una plataforma horizontal que las llevará hacia el sitio donde se secarán. Al estar las unidades aún húmedas puede producirse deformaciones que lleven al alabeo si se manipulan bruscamente cuando se apilan, se cargan y descargan, ya que todo este procedimiento se realiza de forma manual.

También podría ser consecuencia del tipo de horno utilizado. Para ello se graficó el alabeo en relación al tipo de horno usado (ver Figura 3.6).

**Figura 3.6: Valores máximos de alabeo según tipo de horno utilizado**



Se puede observar que las unidades elaboradas en hornos fijos tipo pirámide, presentan mayores variaciones en alabeo que las que han sido producidas en hornos rectangulares. Ambos tipos de hornos son abiertos y el flujo de calor es de abajo hacia arriba, esto podría ocasionar alabeo en las unidades con los cambios de temperatura y la intensidad de quemado, la cual se concentraría mayormente en la parte inferior.

La diferencia en estos tipos de hornos radica en que en los hornos fijos tipo pirámide no se coloca ninguna capa de sellado en la parte superior como sí ocurre en hornos abiertos rectangulares los que se cubren con una capa de cascarilla de arroz de hasta 10cm de altura, reduciéndose de cierta manera la pérdida de energía térmica y la variación de temperatura entre la parte inferior y superior, produciéndose menor alabeo por los cambios de temperatura.

Al comparar los resultados del presente estudio con las características mencionadas por García Rodríguez en el muestreo realizado en 1995 (ver Tabla 3.4), se encontró que en la zona de Marcavelica hay una mayor variación, ya que las unidades observadas eran horizontales a diferencia del muestreo actual en que las unidades muestran una tendencia a la convexidad. En las demás zonas se mantiene la tendencia a concavidad o convexidad.

**Tabla 3.4: Comparación con alabeo observado en 1995**

Zonas estudiadas	Alabeo 1995	Alabeo 2011
La Quinta Marcavelica	Horizontales	Convexos
Cerro Mocho	-	Cóncavos y convexos
La Unión	Cóncavos	Cóncavos
La Encantada	Cóncavos y convexos	Cóncavos y convexos
La Huaca	-	Cóncavos y convexos
Piura	Cóncavos y convexos	Muy poco cóncavos
Ladrillera Semi-Industrial	-	Poco convexos

### 3.2.3 Absorción

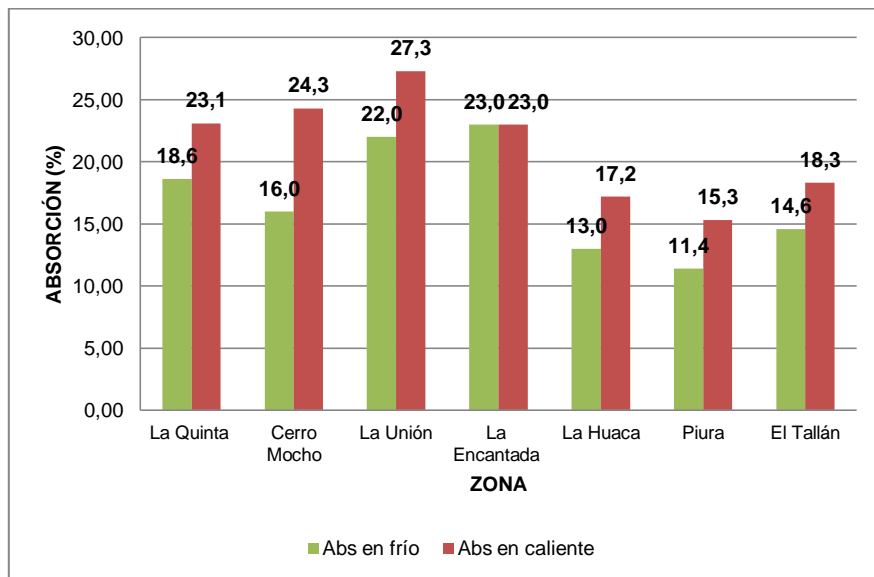
Se evalúa dos puntos importantes: la absorción y el coeficiente de saturación.

En la absorción se incluyen los resultados de los ensayos realizados a las unidades sumergidas tanto en agua fría como en agua caliente.

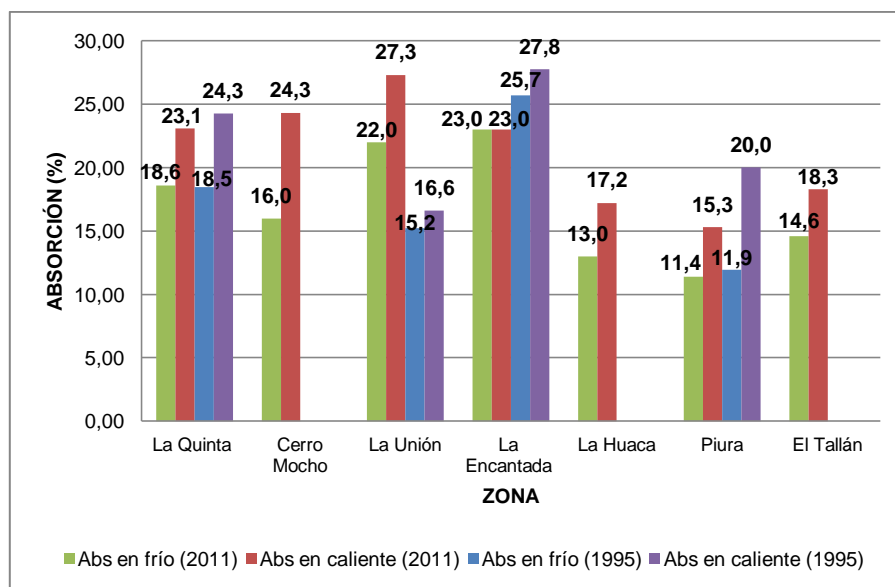
**Tabla 3.5: Valores de absorción de las zonas estudiadas**

UBICACIÓN / ABSORCIÓN	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	El Tallán
Abs. en frío Prom (%)	18,6	16,0	22,0	23,0	13,0	11,4	14,6
Abs. en caliente Prom (%)	23,1	24,3	27,3	23,0	17,2	15,3	18,3

La NTP 331.017 establece como límite una absorción en frío del 22%. De acuerdo con este dato, se observa que los valores obtenidos para las zonas de Marcavelica, Cerro Mocho, La Unión y La Encantada exceden el límite (ver Tabla 3.5), aunque en general los resultados para todos los casos son elevados como se muestra en la Figura 3.7. Este comportamiento es habitual en las unidades artesanales porque como se ha visto en el capítulo 2, durante el proceso de moldeo la mezcla que está siendo colocada en el molde no es prensada utilizando medios mecánicos lo que originaría una masa con mayor porosidad y con un rango de variación amplio, que dependerá del grado de compactación manual que se le dé a la mezcla.

**Figura 3.7: Valores promedio de absorción**

Estos valores se mantienen en relación al muestreo que reportó García Rodríguez (1995) y en algunos casos es mayor en el muestreo actual particularmente en la zona de La Unión como se muestra en la Figura 3.8.

**Figura 3.8: Muestreo actual comparado al muestro realizado en 1995 para la absorción**

Podría decirse que la capacidad de absorción se relaciona con la propiedad de porosidad de las unidades de arcilla, que aparentemente depende de la naturaleza de las adiciones y el proceso de moldeo.

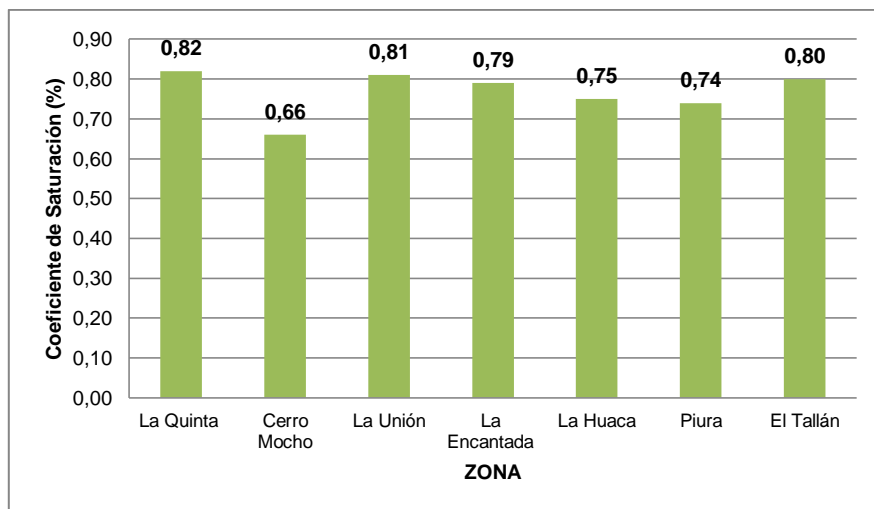
Con los resultados obtenidos para la absorción, se calculan los resultados para obtener el coeficiente de saturación, los cuales se resumen en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6: Valores correspondientes al coeficiente de saturación**

UBICACIÓN COEF. SAT.	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	EL Tallán
Coef. Prom (%)	0,82	0,66	0,81	0,79	0,75	0,74	0,80
Coef. Mín. (%)	0,63	0,54	0,70	0,68	0,67	0,66	0,74
Coef. Máx. (%)	0,97	0,76	0,87	0,87	0,82	0,85	0,84

El coeficiente de saturación se considera como una medida de la durabilidad del ladrillo cuando se encuentra sometido a la acción de la intemperie para ello debe ser menor a 0.88% (Gallegos, 2005).

Los valores promedio de saturación que se observan en la Figura 3.9, son elevados, sin embargo se encuentran por debajo del valor límite establecido. En consecuencia podría decirse que las unidades analizadas pueden ser utilizadas para la conformación de muros que se encuentren en un ambiente con intemperismo moderado. Para ello, estos muros necesitarán un tratamiento previo como tarrajeo de pasta de cemento.

**Figura 3.9: Valores de coeficiente de saturación según zona estudiada**

Se podría decir que la durabilidad al intemperismo moderado no está garantizada por los valores altos de absorción y altos coeficientes de saturación. A mayor coeficiente de saturación mayor será la cantidad de agua que absorbe rápidamente el ladrillo y consecuentemente inferior su resistencia a la intemperie.

### 3.2.4 Succión:

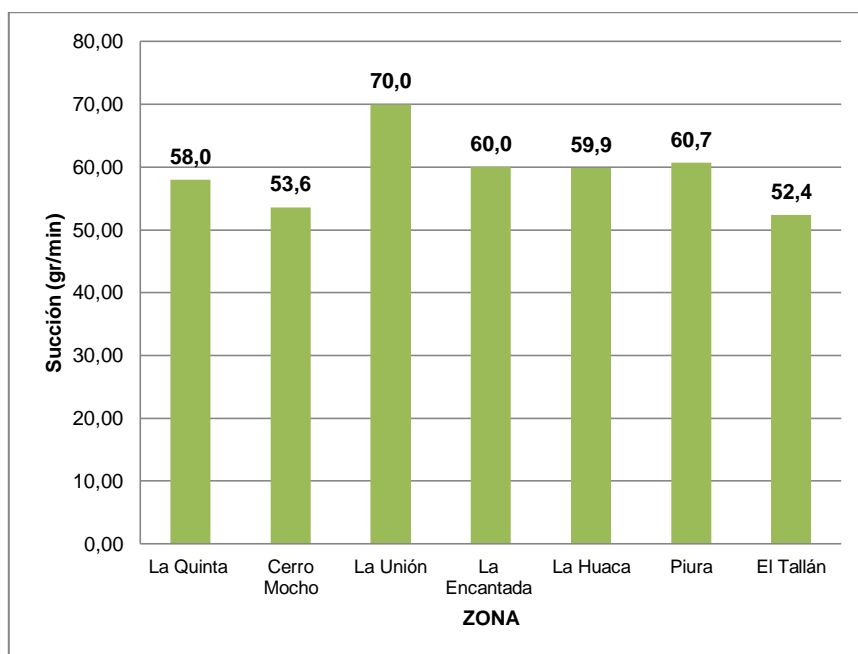
Gallegos (2005), limita el valor de la succión a 40gr/min. Se considera que para succiones mayores a 40gr/min en un área de 200cm<sup>2</sup>, se compromete la adherencia con el mortero en la construcción de unidades de albañilería, por lo que es requisito indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

Los resultados de los ensayos realizados a las unidades muestreadas, se observan en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7: Valores de succión obtenidos según zona de estudio**

UBICACIÓN SUCCIÓN	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	EL Tallán
S prom (gr/min)	58,0	53,6	70,0	60,0	59,9	60,7	52,4
S min (gr/min)	54,6	44,9	60,8	55,6	57,1	50,6	49,9
S max (gr/min)	60,4	65,3	77,3	66,5	61,9	65,6	54,5

Se han encontrado valores promedio de succión relativamente altos (ver Figura 3.10), por encima de los 40gr/min por lo que será necesario saturarlos antes de su uso.

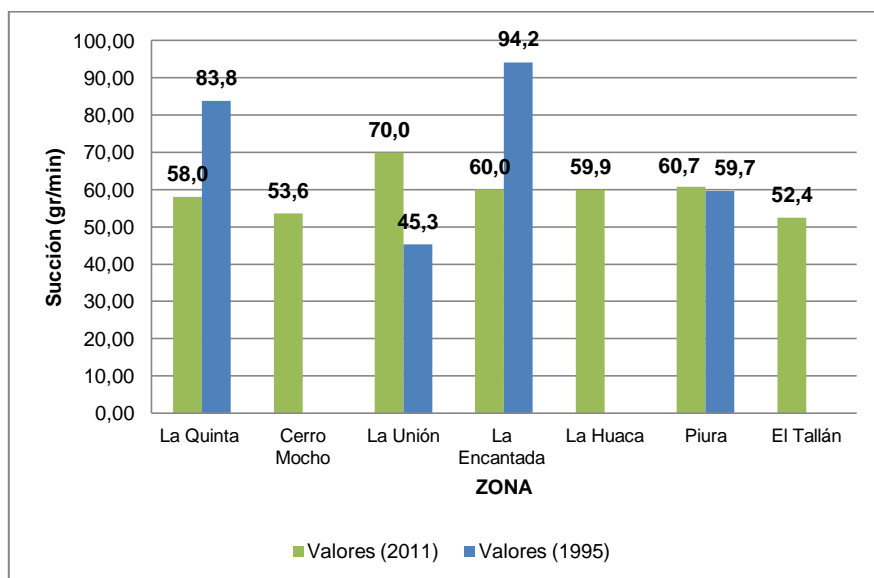
**Figura 3.10: Valores de succión según las zonas estudiadas**

De la Figura 3.10, se observa que el resultado obtenido para la ladrillera semi-industrial muestreada es menor que los obtenidos en las ladrilleras netamente artesanales, aun así, supera el límite sugerido por Gallegos, por lo que se recomienda que este tipo de ladrillos también deben ser humedecidos.

Comparando los resultados obtenidos con el muestreo realizado por García Rodríguez en 1995, se observa que existe una menor variación relativa de las succión entre las zonas de producción artesanal (ver Figura 3.11).



**Figura 3.11: Comparación valores actuales con valores reportados en 1995**



El proceso de moldeo de los ladrillos artesanales podría tener influencia en cuanto al valor de succión obtenido. En esta etapa, no se realiza ningún proceso de compactación de la mezcla, lo que lleva a que algunas de las unidades finales resulten con un porcentaje de vacíos variable. Es decir, en una misma unidad, la mezcla no es del todo homogénea, presentando zonas con más o menos porosidad. En unidades artesanales, el rango de la porosidad total puede alcanzar el 50% del volumen de la unidad.

Por otro lado, en los ladrillos semi-industriales el proceso de moldeo se realiza de forma mecánica ocurriendo un proceso de compactación. Sin embargo con los resultados obtenidos se observa que en ambos casos supera el límite de 40gr/min.

En este caso pareciera que el proceso de compactación no hace la diferencia y que es más bien la selección y preparación de la materia prima la que puede hacer la diferencia en los valores de succión.

### 3.2.5 Eflorescencia

Esta propiedad no está normada como requisito. La objeción principal a la eflorescencia es su efecto sobre la apariencia de la albañilería, mas no en la durabilidad ni en la resistencia cuando la eflorescencia apreciada es escasa. Por el contrario si la eflorescencia es severa, las sales solubles que cristalizan en la superficie del ladrillo comienzan a desintegrarlo llevando a pérdidas de resistencia.

Si la unidad forma parte de un muro y no llega nunca a entrar en contacto con agua, las sales contenidas en la unidad no tienen efecto en la resistencia a la compresión ni en la durabilidad. Sin embargo si el muro se humedece, la formación de las sales puede producir fisuramiento y rompimiento de la unidad con la consecuente pérdida de masa o la pérdida de integridad por agrietamiento lo que afecta la resistencia a la compresión.

**Tabla 3.8: Resultados de eflorescencia según zonas estudiadas**

Zona estudiada	Eflorescencia apreciada
La Quinta Marcavelica	Poca eflorescencia
Cerro Mocho	Muy poca eflorescencia
La Unión	Poca eflorescencia
La Encantada	Poca eflorescencia
La Huaca	Alta eflorescencia
Piura	Poca eflorescencia
Ladrillera Semi-Industrial	Muy poca eflorescencia

Al evaluar la eflorescencia se encontró que es más notoria en la zona de La Huaca (ver Tabla 3.8). Esto confirma la condición de la materia prima observada en este lugar, con presencia evidente de salitre. Sin embargo, todas las zonas presentan algo de eflorescencia, aunque sea muy poca.

### 3.2.6 Resistencia a la compresión:

La NTP 331.017 especifica que la resistencia a la compresión de albañilería es su propiedad más importante, pues no sólo define el nivel de su calidad estructural sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. De todos los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería, los pertinentes a una norma de ladrillo son la resistencia a la compresión y su geometría.

Así, la NTP y el RNE establecen para cada tipo de ladrillo la resistencia a la compresión como se observa a continuación en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9: Resistencia mínima a la compresión según RNE y NTP**

RNE		NTP		
Tipo	Resistencia a la compresión mínima, Mpa	Tipo	Resistencia a la compresión mínima, respecto al área bruta promedio, Mpa	
			Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual
I	4.9	10	10	8
II	6.9			
III	9.3	14	14	10
IV	12.7	17	17	15
V	17.6	21	21	17

A continuación se presenta los resultados obtenidos para las zonas estudiadas:

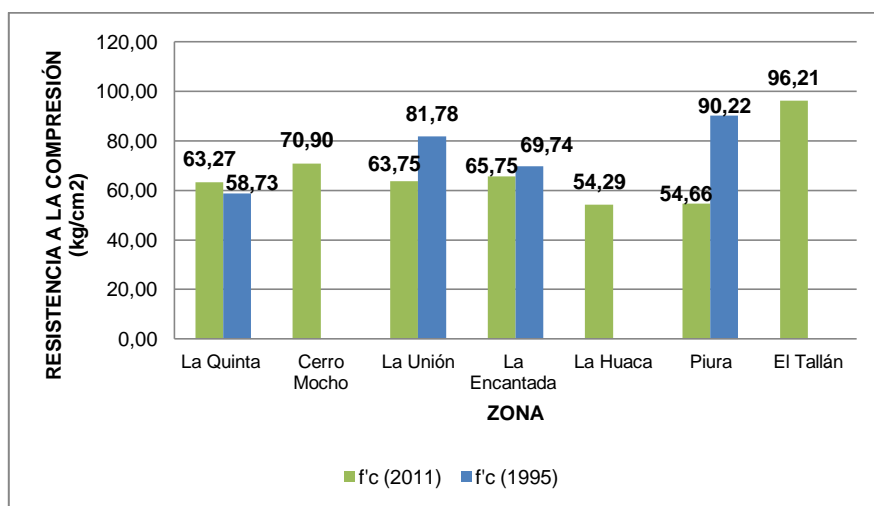
**Tabla 3.10: Valores de resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)**

UBICACIÓN RESISTENCIA	La Quinta Marcavelica	Cerro Mocho	La Unión	La Encantada Chulucanas	La Huaca	Piura	EL Tallán
$\sigma_{prom}$	63,27	70,90	63,75	65,75	54,29	54,66	96,21
$\sigma_{min}$	49,50	77,18	72,75	67,73	55,74	55,57	100,48
$\sigma_{max}$	74,21	79,59	76,26	75,14	62,29	63,15	100,59

De la Tabla 3.10 se observa una tendencia a valores que oscilan entre 50 kg/cm<sup>2</sup> y 70kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 4.9 Mpa y 6.9 Mpa respectivamente (en las ladrilleras artesanales) y una cierta uniformidad, clasificándose como tipo I y tipo II, de acuerdo al RNE de la Tabla 3.9. Asimismo observamos que no se puede hacer una clasificación de las unidades artesanales según la NTP de la Tabla 3.9, pues los valores se encuentran por debajo del límite especificado.

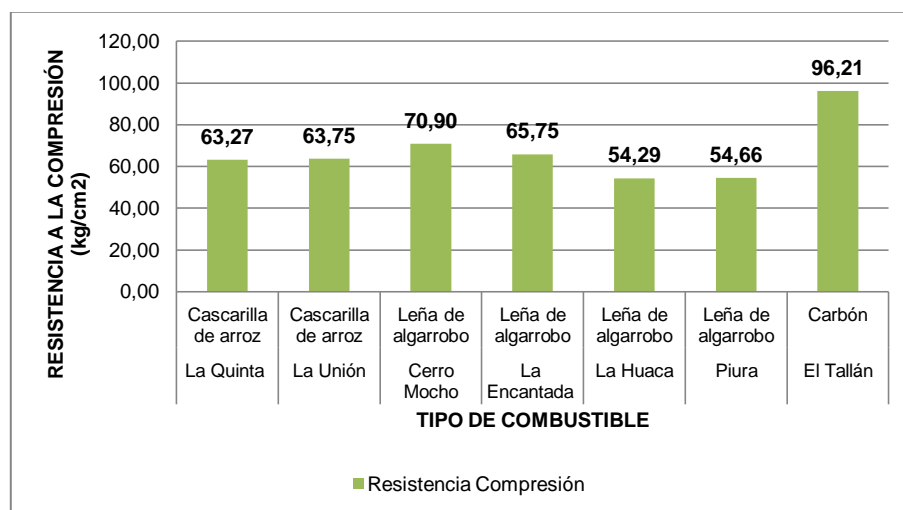
En relación a los datos reportados por García (1995), no se nota una mejora en los valores de resistencia a la compresión; se podría decir que en algunos casos ha disminuido (ver Figura 3.12).

**Figura 3.12: Valores actuales comparados con los valores obtenidos en 1995**



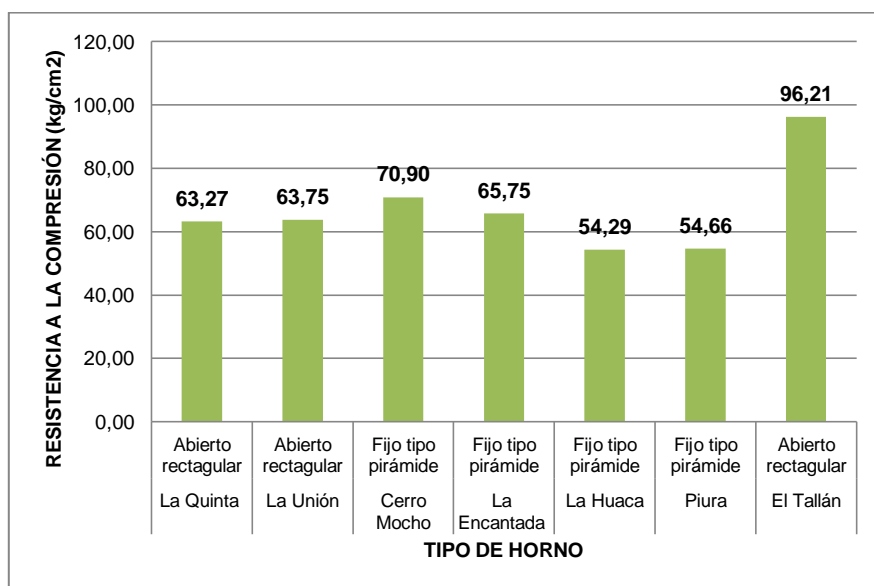
Dado que la resistencia a la compresión es el resultado directo de la cocción, se comparó la resistencia a la compresión con el tipo de combustible usado (ver Figura 3.13). Se puede ver que el uso de cascarilla de arroz como combustible ofrece resultados más uniformes que al usar leña de algarrobo, donde se muestra mayor variación en los resultados. Sin embargo, la resistencia a la compresión sigue siendo baja. En general se puede considerar un valor mínimo de 50 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 3.13: Valores promedio de resistencia según tipo de combustible**



Podría estar también asociado con el tipo de horno, para ello se ha graficado la comparación de los valores promedio de resistencia a la compresión con el tipo de horno empleado (ver Figura 3.14). Ya se ve que el horno rectangular, a pesar de ser igualmente abierto como el piramidal, ofrece una distribución más uniforme de la temperatura porque utilizan una cobertura de 10cm de cascarilla de arroz sobre la parte superior. Esto se refleja en los valores de La Quinta y La Unión, que a pesar de ubicarse geográficamente más lejos y tener materia prima significativamente diferente, tienen valores de resistencia a la compresión bastante similares.

**Figura 3.14: Valores promedio de resistencia según tipo de horno**



En todos los casos, los resultados de la ladrillera semi-industrial exceden ampliamente la resistencia a la compresión de las unidades artesanales. Estos ladrillos obtuvieron una resistencia a la compresión mínima de 96.21 kg/cm<sup>2</sup>, que corresponde a un ladrillo tipo 10 según NTP 331.017 y tipo III de acuerdo al RNE (2006).

El proceso de cocción es muy similar en los semi-industriales, tiene ciertas mejoras en la intensidad del calor con respecto a los artesanales, pero en ningún caso hay una curva de cocción. Esta diferencia en la resistencia a compresión podría deberse básicamente a los procesos previos a la cocción como la selección y preparación de la materia prima o el moldeo.

En general se comprueba que si bien se ha mejorado la calidad del ladrillo semi-industrial en relación al artesanal gracias a los procesos de preparación y moldeo, todavía se requiere afinar el proceso de cocción haciendo la adaptación de la curva de cocción a las características de la materia prima.

## Conclusiones

Este trabajo tiene carácter exploratorio y proporciona una idea general de cómo se realiza el trabajo de fabricación de ladrillos. Para tener datos específicos sobre el proceso de todas las ladrilleras de la Región Piura se necesitaría un estudio estadístico con un mayor número de muestreo de unidades y zonas de producción.

- El proceso de producción, especialmente las condiciones de secado y cocción, están necesariamente asociados a las características de la materia prima. No es posible estandarizar el proceso si no se conoce bien los componentes mineralógicos de la materia prima, porque esto lleva a obtener resultados diversos en la calidad de las unidades.
- Respecto a la tesis de García Rodríguez (1995), ya se ve que los procesos de moldeo, desmoldado y secado previo a la cocción son los mismos. Los hornos siguen siendo los mismos; sin embargo se observa que existen más ladrilleras que utilizan como combustible la cascarilla de arroz. Los productores están mejor organizados en términos de especialización de trabajo y secuencia de los procesos. Por otro lado, se ha producido cambio en los productos usados, ya que anteriormente se usaba una única adición como es el aserrín o la cascarilla de arroz. Actualmente se adiciona cenizas de cascarilla de arroz solas o combinaciones de aserrín y cascarilla de arroz, en ambos casos el propósito es disminuir la plasticidad de la pasta para evitar que se pegue a las manos cuando se está manipulando, facilitando el moldeo de las unidades.
- Las variaciones que se han identificado en el proceso de producción artesanal no son determinantes en la resistencia a la compresión, pues los resultados obtenidos son bajos. De acuerdo a los resultados del presente estudio, no se ve una clara influencia de los distintos modos de cocción sobre los resultados. Aunque se ve que los procesos previos de selección y preparación de la materia prima son importantes. Por teoría se tiene que el proceso de compactación influye en los resultados obtenidos en el ensayo de succión, dependiendo si es artesanal o semi-industrial. Debería haber diferencia en los resultados de ambos

tipos pero no la hay. De esto se deduce que el proceso de compactación no es suficientemente eficiente para garantizar una mejora en la succión.

- La mejor calidad de la Ladrillera El Tallán, confirma que un proceso más controlado garantiza mejores propiedades de las unidades. Pero esta mejora se da en ciertas propiedades como variabilidad dimensional y alabeo, como consecuencia de las mejoras técnicas de moldeo, y la resistencia a la compresión con un proceso de cocción más controlado. Pero las propiedades de absorción no se logran uniformizar porque aún siendo un proceso tecnológico mejorado, tampoco tiene un control sobre la materia prima. Además la incorporación de diatomita que reduce la temperatura en la mezcla, y el desgaste de los equipos durante el moldeo podría tener un efecto adicional en la capacidad refractaria de las unidades finales.
- Los ladrillos El Tallán no superan los requisitos de calidad que exige la norma NTP 331.017 para un ladrillo tipo industrial, por lo que estas unidades deberían considerarse como semi-industriales.
- Si se desea diseñar con unidades artesanales el valor de resistencia a la compresión para diseño podría considerarse en 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Aunque por la prueba de absorción los ladrillos semi-industriales son más impermeables que los artesanales ninguno garantiza la durabilidad ante la intemperie. Ambos requerirán recubrimiento para garantizar la integridad del muro. Como la absorción es mayor en los ladrillos artesanales, estos requerirán tarrajeo, mientras que los semi-industriales requerirán semi-tarrajeo.
- Los ladrillos artesanales son más susceptibles a presentar eflorescencia, es por ello que se hace mayor la importancia y la necesidad de recubrir el muro del cual formen parte las unidades artesanales. Con esto se evitará que las sales contenidas en las unidades se cristalicen al entrar en contacto con el agua y lleven a la desintegración de la unidad, lo que significaría pérdida de resistencia.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de succión, se observa que tanto los ladrillos artesanales como semi-industriales deben ser saturados antes de su uso. Sin embargo en la práctica constructiva, los ladrillos semi-industriales no se saturan, mas son humedecidos minutos antes de colocarlos, esto porque las unidades son vendidas como unidades industriales y se hace la suposición que ya cumplen con los requisitos que se plantean en las normas de construcción.

## Referencias Bibliográficas

1. Anfalit. (2002). *Diagnóstico de la industria ladrillera nacional*. Bogotá: Camargo y Asociados Ingenieros Consultores.
2. Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. Costa Rica: IICA.
3. Clews, F.H. (1969). *Heavy clay technology* (2ª). New York: Academic Press.
4. Del Busto, A. (1991). *La arcilla aplicada en la industria de la construcción para la fabricación de ladrillos y acabados cerámicos*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
5. Del Río, J. (1975). *Materiales de construcción* (4ª). Barcelona: Juan Bruger.
6. Gallegos, H. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
7. García, F. (1995). *Proceso productivo y estudio estadístico de las propiedades de los ladrillos de arcilla de Piura*. Tesis de Título. Universidad de Piura, Piura, Perú.
8. Gordejuela, I. (2004). *Expansión por humedad de los productos cerámicos españoles*. España: Artículos Técnicos.
9. Hamilton, D. (1989). *Alfarería y Cerámica*. España: Ediciones CEAC.
10. Hendry, AW, Sinha, BP, & Davies, SR. (1997). *Design of masonry structures*. Reino Unido: E&FN Spon.
11. Huntington, WC, Ellison, DC, & Mickadeit, RE. (1987). *Building Construction: Materials and types of construction* (3ª). Australia: John Wiley & Sons.
12. Jiménez, A., & Salazar, O. (2005). *Transferencia de tecnología a ladrilleras en Cholula elaborando un manual de capacitación y diseñando un horno para pruebas de laboratorio con capacidad para cocer veinte ladrillos de arcilla*.

*para analizar y mejorar el proceso de producción.* Tesis de Título. Universidad de Las Américas, Puebla, México.

13. Kohl, A., & Bastian, K. (1975). *Tratado moderno de albañilería* (2ª). Barcelona: José Montesó.
14. Marotta, TW. (2005). *Basic construction materials* (7ª). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
15. Moreno, F. (1981). *El ladrillo en la construcción.* España: Ediciones CEAC.
16. Norma Técnica Peruana. (2003). *Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos.* (NTP 331.017:2003). Lima: INDECOPI
17. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (1970). *Establecimiento de industrias y ladrillos de ladrillos y tejas en los países en desarrollo.* New York: Naciones Unidas.
18. Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista.* España: Ediciones CEAC.
19. Robusté, E. (1969). *Técnica y práctica de la industria ladrillera* (5ª). Barcelona: CEAC.
20. Schneider, R., & Dickey, W. (1980). *Reinforced masonry design.* Englewood Cliffs: Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
21. Sociedad geológica mexicana. *Arcilla, clasificación, identificación usos y especificaciones industriales.* Recuperado de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca03/de-pablo.pdf>
22. Somayaji, S. (2001). *Civil engineering materials* (2ª). New Jersey: Prentice Hall.
23. Terán, S. *Fabricación de baldosas cerámicas.* Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/20696439/Proceso-de-fabricacion-de-baldosas-ceramicas>
24. Villareal, LA. (2004). *Uso de lodo y papel para la fabricación de ladrillos y tabla roca.* Tesis de Título. Universidad de Las Américas, Puebla, México.



## Anexo A: Medida de la dimensión

<b>Tabla A.1: La Quinta Marcavelica</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	21,70	21,70	21,50	21,90	22,40	21,70	21,70	22,00	21,20	21,70
L2	21,90	21,70	21,60	21,80	22,40	21,60	21,90	22,10	21,50	21,80
L3	21,70	21,80	21,50	21,80	21,90	21,60	21,90	21,90	21,50	21,60
L4	21,80	21,60	21,50	21,80	22,40	21,80	21,70	21,60	21,40	22,00
<b>Prom</b>	<b>21,78</b>	<b>21,70</b>	<b>21,53</b>	<b>21,83</b>	<b>22,28</b>	<b>21,68</b>	<b>21,80</b>	<b>21,90</b>	<b>21,40</b>	<b>21,78</b>
									<b>Promedio</b>	<b>21,77</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	11,90	12,30	12,30	12,40	12,80	12,30	12,20	12,10	11,90	12,50
A2	11,90	12,10	12,00	12,30	12,70	12,10	12,00	12,50	12,00	12,20
A3	12,10	12,00	12,20	12,40	12,70	12,30	12,10	12,40	11,90	12,30
A4	12,00	12,30	12,10	12,30	12,70	12,15	12,00	12,30	11,90	12,70
<b>Prom</b>	<b>11,98</b>	<b>12,18</b>	<b>12,15</b>	<b>12,35</b>	<b>12,73</b>	<b>12,21</b>	<b>12,08</b>	<b>12,33</b>	<b>11,93</b>	<b>12,43</b>
									<b>Promedio</b>	<b>12,23</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	8,60	8,40	8,70	8,70	8,70	8,95	8,65	8,50	8,45	8,50
H2	8,60	8,50	8,50	8,80	8,80	8,90	8,30	8,40	8,40	8,30
H3	8,60	8,40	8,40	8,70	8,70	8,85	8,25	8,40	8,50	8,25
H4	8,70	8,40	8,70	8,60	8,70	8,80	8,50	8,40	8,80	8,35
<b>Prom</b>	<b>8,63</b>	<b>8,43</b>	<b>8,58</b>	<b>8,70</b>	<b>8,73</b>	<b>8,88</b>	<b>8,43</b>	<b>8,43</b>	<b>8,54</b>	<b>8,35</b>
									<b>Promedio</b>	<b>8,57</b>

	<b>D. prom</b>	<b>D.nominal</b>	<b>v(%)</b>
<b>Largo</b>	<b>21,77</b>	<b>23,00</b>	<b>5,35</b>
<b>ancho</b>	<b>12,23</b>	<b>13,00</b>	<b>5,92</b>
<b>altura</b>	<b>8,57</b>	<b>9,00</b>	<b>4,78</b>

Tabla A.2: Cerro Mocho										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	21,60	22,30	21,20	21,90	21,10	21,50	21,50	21,60	21,20	21,50
L2	21,60	22,50	21,40	21,40	21,40	21,60	21,40	21,90	21,20	21,30
L3	21,40	22,10	21,20	21,20	21,60	21,60	21,20	21,40	21,80	21,40
L4	21,50	22,20	21,20	21,60	21,60	21,70	21,30	21,30	21,60	21,20
<b>Prom</b>	<b>21,53</b>	<b>22,28</b>	<b>21,25</b>	<b>21,53</b>	<b>21,43</b>	<b>21,60</b>	<b>21,35</b>	<b>21,55</b>	<b>21,45</b>	<b>21,35</b>
									<b>Promedio</b>	<b>21,53</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	12,40	12,80	11,90	12,50	12,20	11,90	12,20	12,50	12,20	12,00
A2	11,90	12,20	12,10	12,60	11,90	11,90	12,10	12,30	11,90	11,70
A3	12,30	12,70	12,30	12,60	12,40	11,70	12,30	12,40	12,10	11,90
A4	12,40	12,90	11,80	12,70	12,50	12,10	12,40	12,40	12,00	12,00
<b>Prom</b>	<b>12,25</b>	<b>12,65</b>	<b>12,03</b>	<b>12,60</b>	<b>12,25</b>	<b>11,90</b>	<b>12,25</b>	<b>12,40</b>	<b>12,05</b>	<b>11,90</b>
									<b>Promedio</b>	<b>12,23</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	7,90	7,60	7,90	7,60	7,50	8,00	8,00	7,70	7,55	7,40
H2	7,70	7,60	7,90	7,80	7,40	7,80	7,60	8,00	7,65	7,70
H3	7,80	7,90	7,80	8,10	7,60	8,20	7,70	8,10	7,70	7,80
H4	7,80	7,80	7,70	7,80	7,40	7,80	7,60	8,00	7,60	7,60
<b>Prom</b>	<b>7,80</b>	<b>7,73</b>	<b>7,83</b>	<b>7,83</b>	<b>7,48</b>	<b>7,95</b>	<b>7,73</b>	<b>7,95</b>	<b>7,63</b>	<b>7,63</b>
									<b>Promedio</b>	<b>7,75</b>

	D. prom	D.nominal	v(%)
<b>Largo</b>	<b>21,53</b>	<b>23,00</b>	<b>6,39</b>
<b>ancho</b>	<b>12,23</b>	<b>13,00</b>	<b>5,92</b>
<b>altura</b>	<b>7,75</b>	<b>9,00</b>	<b>13,89</b>

Tabla A.3:La Unión										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	19,10	20,10	19,60	19,30	19,50	19,20	19,70	20,40	19,50	19,70
L2	19,40	20,40	19,60	19,50	19,70	19,70	19,70	20,10	19,50	19,10
L3	19,80	20,40	19,70	19,90	20,20	20,10	20,40	20,10	19,80	19,40
L4	19,40	20,30	19,50	19,60	19,80	19,60	20,30	20,20	19,50	19,40
<b>Prom</b>	<b>19,43</b>	<b>20,30</b>	<b>19,60</b>	<b>19,58</b>	<b>19,80</b>	<b>19,65</b>	<b>20,03</b>	<b>20,20</b>	<b>19,58</b>	<b>19,40</b>
									<b>Promedio</b>	<b>19,76</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	10,10	10,50	10,50	10,50	10,30	10,50	10,60	10,70	10,10	10,40
A2	9,90	10,80	10,10	9,80	10,10	10,10	10,50	10,60	10,00	10,00
A3	10,50	10,90	10,00	10,00	10,20	10,20	10,30	10,40	10,30	10,30
A4	10,00	10,60	10,40	10,70	10,30	10,30	10,60	10,70	10,40	10,20
<b>Prom</b>	<b>10,13</b>	<b>10,70</b>	<b>10,25</b>	<b>10,25</b>	<b>10,23</b>	<b>10,28</b>	<b>10,50</b>	<b>10,60</b>	<b>10,20</b>	<b>10,23</b>
									<b>Promedio</b>	<b>10,34</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	7,30	7,40	7,30	7,30	7,40	7,20	6,90	7,20	7,80	7,30
H2	7,10	7,50	7,50	7,50	7,40	7,10	6,90	7,50	7,40	7,20
H3	7,20	7,70	7,50	7,40	7,50	7,20	7,00	7,50	7,40	7,20
H4	7,20	7,50	7,40	7,40	7,30	7,30	7,30	7,50	7,40	7,40
<b>Prom</b>	<b>7,20</b>	<b>7,53</b>	<b>7,43</b>	<b>7,40</b>	<b>7,40</b>	<b>7,20</b>	<b>7,03</b>	<b>7,43</b>	<b>7,50</b>	<b>7,28</b>
									<b>Promedio</b>	<b>7,34</b>

	D. prom	D.nominal	v(%)
<b>Largo</b>	<b>19,76</b>	<b>23,00</b>	<b>14,09</b>
<b>ancho</b>	<b>10,34</b>	<b>13,00</b>	<b>20,46</b>
<b>altura</b>	<b>7,34</b>	<b>9,00</b>	<b>18,44</b>

Tabla A.4:La Encantada Chulucanas										
	M6	M7	M8	M9	M10	M21	M22	M23	M24	M25
L1	20,00	20,10	20,20	20,10	20,20	20,10	19,70	20,30	19,90	19,70
L2	20,40	20,00	20,00	20,40	20,25	20,60	20,10	20,40	20,30	19,40
L3	20,30	19,50	19,50	19,60	20,05	20,30	20,10	20,60	20,10	19,40
L4	20,40	20,00	19,90	19,95	20,15	20,20	20,40	20,40	20,10	19,90
<b>Prom</b>	<b>20,28</b>	<b>19,90</b>	<b>19,90</b>	<b>20,01</b>	<b>20,16</b>	<b>20,30</b>	<b>20,08</b>	<b>20,43</b>	<b>20,10</b>	<b>19,60</b>
									<b>Promedio</b>	<b>20,08</b>
	M6	M7	M8	M9	M10	M21	M22	M23	M24	M25
A1	11,10	11,30	11,20	10,95	11,25	11,00	11,10	11,30	11,10	11,20
A2	10,70	10,50	11,00	10,70	10,80	10,80	11,00	11,00	10,90	10,80
A3	11,00	11,00	11,50	11,00	10,50	11,10	11,30	11,20	10,90	11,20
A4	10,90	11,10	11,50	11,20	11,40	11,30	11,40	11,10	10,70	11,10
<b>Prom</b>	<b>10,93</b>	<b>10,98</b>	<b>11,30</b>	<b>10,96</b>	<b>10,99</b>	<b>11,05</b>	<b>11,20</b>	<b>11,15</b>	<b>10,90</b>	<b>11,08</b>
									<b>Promedio</b>	<b>11,05</b>
	M6	M7	M8	M9	M10	M21	M22	M23	M24	M25
H1	7,05	7,35	7,15	7,20	7,30	7,55	7,00	7,40	7,55	7,00
H2	7,30	7,30	7,05	7,15	7,50	7,35	7,30	7,30	7,60	7,50
H3	7,20	7,25	7,30	7,05	7,50	7,10	7,10	7,30	7,45	7,45
H4	7,25	7,35	7,30	7,40	7,55	7,75	7,40	7,50	7,50	7,40
<b>Prom</b>	<b>7,20</b>	<b>7,31</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,46</b>	<b>7,44</b>	<b>7,20</b>	<b>7,38</b>	<b>7,53</b>	<b>7,34</b>
									<b>Promedio</b>	<b>7,33</b>

	D. prom	D.nominal	v(%)
<b>Largo</b>	<b>20,08</b>	<b>23,00</b>	<b>12,70</b>
<b>ancho</b>	<b>11,05</b>	<b>13,00</b>	<b>15,00</b>
<b>altura</b>	<b>7,33</b>	<b>9,00</b>	<b>18,56</b>

Tabla A.5: La Huaca										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	21,70	21,95	21,10	21,80	21,20	21,30	21,30	21,45	21,20	21,20
L2	21,50	22,20	21,15	21,45	21,50	21,30	21,20	21,50	21,20	21,30
L3	21,50	21,90	21,20	21,30	21,55	21,20	21,40	21,50	21,45	21,40
L4	21,55	22,00	21,20	21,50	21,40	21,20	21,30	21,20	21,30	21,30
<b>Prom</b>	<b>21,56</b>	<b>22,01</b>	<b>21,16</b>	<b>21,51</b>	<b>21,41</b>	<b>21,25</b>	<b>21,30</b>	<b>21,41</b>	<b>21,29</b>	<b>21,30</b>
									<b>Promedio</b>	<b>21,42</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	12,45	12,70	12,00	12,40	12,30	11,95	12,50	12,20	12,50	12,10
A2	12,00	12,50	12,00	12,40	12,00	11,90	12,10	12,30	11,95	11,80
A3	12,20	12,60	12,20	12,50	11,90	11,90	12,00	12,30	12,00	12,00
A4	12,40	12,60	11,90	12,40	12,40	12,05	12,40	12,30	12,20	12,10
<b>Prom</b>	<b>12,26</b>	<b>12,60</b>	<b>12,03</b>	<b>12,43</b>	<b>12,15</b>	<b>11,95</b>	<b>12,25</b>	<b>12,28</b>	<b>12,16</b>	<b>12,00</b>
									<b>Promedio</b>	<b>12,21</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	8,50	8,35	8,65	8,60	8,70	8,80	8,75	8,40	8,50	8,50
H2	8,55	8,40	7,60	8,60	8,75	8,85	8,65	8,40	8,40	8,35
H3	8,50	8,50	8,60	8,70	8,80	8,90	8,80	8,40	8,45	8,30
H4	8,60	8,40	8,60	8,70	8,70	8,90	8,65	8,45	8,45	8,45
<b>Prom</b>	<b>8,54</b>	<b>8,41</b>	<b>8,36</b>	<b>8,65</b>	<b>8,74</b>	<b>8,86</b>	<b>8,71</b>	<b>8,41</b>	<b>8,45</b>	<b>8,40</b>
									<b>Promedio</b>	<b>8,55</b>

	D. prom	D.nominal	v(%)
<b>Largo</b>	<b>21,42</b>	<b>23,00</b>	<b>6,87</b>
<b>ancho</b>	<b>12,21</b>	<b>13,00</b>	<b>6,08</b>
<b>altura</b>	<b>8,55</b>	<b>9,00</b>	<b>5,00</b>

<b>Tabla A.6: Piura</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	22,00	21,85	21,20	21,30	21,50	21,40	21,20	21,50	21,80	21,30
L2	21,50	21,80	21,25	21,35	21,60	21,55	21,20	21,40	21,70	21,30
L3	21,55	22,00	21,20	21,30	21,20	21,55	21,30	21,50	21,50	21,40
L4	21,80	21,90	21,20	21,40	21,70	21,60	21,20	21,50	21,50	21,55
<b>Prom</b>	<b>21,71</b>	<b>21,89</b>	<b>21,21</b>	<b>21,34</b>	<b>21,50</b>	<b>21,53</b>	<b>21,23</b>	<b>21,48</b>	<b>21,63</b>	<b>21,39</b>
									<b>Promedio</b>	<b>21,49</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	12,00	12,40	12,10	12,35	12,20	12,40	12,50	12,30	12,60	12,00
A2	12,00	12,50	12,05	12,20	12,05	12,00	12,30	12,15	12,40	12,15
A3	12,40	12,35	12,00	12,50	12,10	12,00	12,35	12,45	12,40	12,10
A4	12,00	12,00	12,00	12,40	12,50	12,50	12,10	12,50	12,30	12,30
<b>Prom</b>	<b>12,10</b>	<b>12,31</b>	<b>12,04</b>	<b>12,36</b>	<b>12,21</b>	<b>12,23</b>	<b>12,31</b>	<b>12,35</b>	<b>12,43</b>	<b>12,14</b>
									<b>Promedio</b>	<b>12,25</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	8,45	8,60	8,70	8,45	8,60	8,80	8,45	8,35	8,60	8,40
H2	8,20	8,50	8,00	8,20	8,65	8,80	8,55	8,50	8,20	8,30
H3	8,20	8,30	8,05	8,00	8,20	8,70	8,90	8,50	8,60	8,30
H4	8,25	8,35	8,50	8,05	8,50	8,40	8,60	8,50	8,25	8,45
<b>Prom</b>	<b>8,28</b>	<b>8,44</b>	<b>8,31</b>	<b>8,18</b>	<b>8,49</b>	<b>8,15</b>	<b>8,63</b>	<b>8,46</b>	<b>8,41</b>	<b>8,36</b>
									<b>Promedio</b>	<b>8,37</b>

	<b>D. prom</b>	<b>D.nominal</b>	<b>v(%)</b>
<b>Largo</b>	<b>21,49</b>	<b>23,00</b>	<b>6,57</b>
<b>ancho</b>	<b>12,25</b>	<b>13,00</b>	<b>5,77</b>
<b>altura</b>	<b>8,37</b>	<b>9,00</b>	<b>7,00</b>

**Tabla A.7: Ladrillera El Tallán**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
L1	23,30	23,40	23,30	23,20	23,30	23,40	23,30	23,50	23,30	23,30
L2	23,20	23,20	23,10	23,10	23,10	23,10	23,20	23,20	23,20	23,15
L3	23,35	23,30	23,40	23,30	23,30	23,15	23,10	23,20	23,10	23,10
L4	23,25	23,20	23,20	23,20	23,10	23,15	23,10	23,20	23,10	23,10
<b>Prom</b>	<b>23,28</b>	<b>23,28</b>	<b>23,25</b>	<b>23,20</b>	<b>23,20</b>	<b>23,20</b>	<b>23,18</b>	<b>23,28</b>	<b>23,18</b>	<b>23,16</b>
									<b>Promedio</b>	<b>23,22</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
A1	12,00	11,90	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80
A2	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90
A3	11,95	11,80	11,85	11,80	11,70	11,80	11,90	11,70	11,90	11,80
A4	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	12,00	11,90	11,90	11,90
<b>Prom</b>	<b>11,94</b>	<b>11,88</b>	<b>11,86</b>	<b>11,85</b>	<b>11,83</b>	<b>11,85</b>	<b>11,90</b>	<b>11,83</b>	<b>11,88</b>	<b>11,85</b>
									<b>Promedio</b>	<b>11,87</b>
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
H1	8,80	8,70	8,90	8,70	8,60	8,70	8,90	8,60	8,90	8,80
H2	8,80	8,70	8,85	8,70	8,70	8,70	8,90	8,70	9,00	8,75
H3	8,90	8,65	8,85	8,75	8,70	8,70	8,80	8,70	8,85	8,90
H4	8,90	8,75	8,95	8,80	8,65	8,80	8,90	8,80	8,95	8,90
<b>Prom</b>	<b>8,85</b>	<b>8,70</b>	<b>8,89</b>	<b>8,74</b>	<b>8,66</b>	<b>8,73</b>	<b>8,88</b>	<b>8,70</b>	<b>8,93</b>	<b>8,84</b>
									<b>Promedio</b>	<b>8,79</b>

	<b>D. prom</b>	<b>D.nominal</b>	<b>v(%)</b>
<b>Largo</b>	<b>23,22</b>	<b>24,00</b>	<b>3,25</b>
<b>ancho</b>	<b>11,87</b>	<b>12,00</b>	<b>1,08</b>
<b>altura</b>	<b>8,79</b>	<b>9,00</b>	<b>2,33</b>

## Anexo B: Medida del Alabeo

<b>Tabla B.1: La Quinta Marcavelica</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	1,00	0,50	1,00	0,50	2,00	1,00	1,50	1,00	0,00	1,00
Sup. Convexa (mm)	6,00	4,60	4,00	3,00	5,00	3,00	6,00	4,40	4,60	6,00

<b>Tabla B.2: Cerro Mocho</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	3,00	3,00	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sup. Convexa (mm)	3,00	5,00	3,00	3,00	4,00	4,00	2,00	0,50	6,00	3,00

<b>Tabla B.3: La Unión</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	2,00	0,50	3,00	6,00	5,00	8,00	3,00	0,50	3,00	6,00
Sup. Convexa (mm)	3,00	4,00	1,00	3,50	6,00	4,00	4,00	1,00	2,00	6,00

<b>Tabla B.4: La Encantada Chulucanas</b>										
	M6	M7	M8	M9	M10	M21	M22	M23	M24	M25
Sup. Cóncava (mm)	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	3,00	6,00	1,50	0,50	0,50
Sup. Convexa (mm)	7,00	5,50	2,50	2,00	7,00	7,00	5,00	5,00	5,00	4,00

<b>Tabla B.5: La Huaca</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	2,00	1,00	2,50	1,50	2,00	2,50	3,00	3,00	2,00	1,00
Sup. Convexa (mm)	4,50	2,50	3,00	3,50	4,00	5,50	2,50	2,00	3,00	4,00

<b>Tabla B.6: Piura</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	2,00	2,00	3,00	1,50	1,00	2,00	1,00	1,00	2,50	3,00
Sup. Convexa (mm)	2,00	2,00	4,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	2,00

<b>Tabla B.7: Ladrillera El Tallán</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Sup. Cóncava (mm)	3,00	1,50	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00
Sup. Convexa (mm)	4,00	2,00	3,00	5,00	5,00	6,00	4,00	3,00	2,00	4,00



## Anexo C: Absorción

<b>Tabla C.1: La Quinta Marcavelica</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	3315,40	3921,50	4043,20	18,3	22,0	0,83
M2	3721,50	4215,10	4310,10	13,3	15,8	0,84
M3	3321,30	4098,60	4125,00	23,4	24,2	0,97
M4	3510,10	4185,20	4321,30	19,2	23,1	0,83
M5	3341,00	3975,30	4350,00	19,0	30,2	0,63
			Promedio	18,6	23,1	0,82

<b>Tabla C.2: Cerro Mocho</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2910,10	3320,90	3520,10	14,1	21,0	0,67
M2	2805,00	3305,00	3601,00	17,8	28,4	0,63
M3	3223,10	3643,30	4001,90	13,0	24,2	0,54
M4	2818,90	3312,10	3526,10	17,5	25,1	0,70
M5	2830,20	3321,70	3473,20	17,4	22,7	0,76
			Promedio	16,0	24,3	0,66

<b>Tabla C.3: La Unión</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2115,10	2528,60	2605,30	19,5	23,2	0,84
M2	2021,40	2503,90	2710,10	23,9	34,1	0,70
M3	2148,90	2645,70	2748,40	23,1	27,9	0,83
M4	2227,20	2679,80	2750,10	20,3	23,5	0,87
M5	2137,20	2630,20	2730,20	23,1	27,7	0,83
			Promedio	22,0	27,3	0,81

<b>Tabla C.4: La Encantada Chulucanas</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2312,10	2843,00	2946,50	23,0	27,4	0,84
M2	2345,00	2915,50	3090,10	24,3	31,8	0,77
M3	2323,10	2855,10	2971,00	22,9	27,9	0,82
M4	2138,20	2617,50	2847,80	22,4	33,2	0,68
M5	2241,00	2741,20	2818,10	22,3	25,8	0,87
			Promedio	23,0	29,2	0,79

<b>Tabla C.5: La Huaca</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2975,6	3400,90	3502,00	14,3	17,7	0,81
M2	2941,2	3396,10	3498,30	15,5	18,9	0,82
M3	3105,2	3425,30	3584,20	10,3	15,4	0,67
M4	3121,0	3482,20	3648,30	11,6	16,9	0,68
M5	3002,5	3405,20	3520,60	13,4	17,3	0,78
			Promedio	13,0	17,2	0,75

<b>Tabla C.6: Piura</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2956,2	3308,80	3422,50	11,9	15,8	0,76
M2	3054,3	3375,60	3505,20	10,5	14,8	0,71
M3	3125,2	3577,80	3658,20	14,5	17,1	0,85
M4	2996,3	3254,60	3388,00	8,6	13,1	0,66
M5	3089,3	3447,60	3585,30	11,6	16,1	0,72
			Promedio	11,4	15,3	0,74

<b>Tabla C.7: Ladrillera el Tallán</b>						
Muestra	Peso (g)			Absorción en agua fría (%)	Absorción en agua caliente (%)	Coeficiente de Saturación
	Seco	Saturado (24hrs) en agua fría	Satur (5hrs.) en agua caliente			
M1	2856,50	3308,70	3412,10	15,8	19,5	0,81
M2	2818,10	3281,60	3399,00	16,4	20,6	0,80
M3	2903,30	3315,10	3423,20	14,2	17,9	0,79
M4	2924,70	3367,50	3450,10	15,1	18,0	0,84
M5	2915,70	3254,90	3375,30	11,6	15,8	0,74
			Promedio	14,6	18,3	0,80

## Anexo D: Succión

<b>Tabla D.1: La Quinta Marcavelica</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	3325,1	3405,1	21,7	12,4	269,08	59,5
2	3365,2	3440,7	21,8	12,4	270,32	55,9
3	3410,1	3492,2	21,8	12,6	274,68	59,8
4	3261,3	3341,5	21,6	12,3	265,68	60,4
5	3465,3	3537,8	21,6	12,3	265,68	54,6
Promedio						58,0

<b>Tabla D.2: Cerro Mocho</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	3025,2	3095,6	21,6	12,4	267,8	52,6
2	2951,1	3036,1	21,5	12,1	260,2	65,3
3	2963,2	3026,3	21,7	12,2	264,7	47,7
4	3102,0	3162,1	21,4	12,5	267,5	44,9
5	3205,5	3280,5	21,3	12,2	259,9	57,7
Promedio						53,6

<b>Tabla D.3: La Unión</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	2122,3	2193,6	19,9	10,2	203,0	71,3
2	2103,2	2164,0	19,8	10,0	198,0	60,8
3	2255,0	2330,0	19,5	10,1	197,0	75,0
4	2135,0	2200,8	19,9	10,3	205,0	65,8
5	2261,2	2338,5	19,8	10,2	202,0	77,3
Promedio						70,0

<b>Tabla D.4: La Encantada Chulucanas</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	2305,5	2377,9	20,3	10,9	221,3	65,4
2	2325,6	2399,6	19,7	11,3	222,6	66,5
3	2423,1	2484,4	19,5	11,2	218,4	56,1
4	2250,1	2312,4	19,9	11,1	220,9	56,4
5	2416,0	2478,8	19,8	11,4	225,7	55,6
Promedio						60,02

<b>Tabla D.5: LaHuaca</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	2925,3	2996,5	20,0	11,5	230,0	61,9
2	2965,1	3035,1	19,8	11,6	229,7	61,0
3	3021,0	3086,3	19,9	11,5	228,9	57,1
4	3102,2	3171,2	19,8	11,4	225,7	61,1
5	3068,5	3136,8	19,9	11,7	232,8	58,7
					Promedio	59,9

<b>Tabla D.6: Piura</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	2856,3	2927,7	20,1	12,0	241,2	59,2
2	2945,2	3006,3	20,3	11,9	241,6	50,6
3	2900,9	2979,9	20,4	11,8	240,7	65,6
4	2896,3	2972,1	20,3	11,9	240,6	63,0
5	2994,2	3071,5	20,2	11,8	238,4	64,9
					Promedio	60,7

<b>Tabla D.7: Ladrillera El Tallán</b>						
Muestra	Psec (gr)	Psat (gr)	A	L	Área	S
1	2825,3	2898,3	23,3	11,8	274,9	53,1
2	2851,3	2925,4	23,4	12,0	280,8	52,8
3	2951,1	3020,6	23,4	11,9	278,5	49,9
4	2963,0	3034,5	23,3	11,9	276,1	51,8
5	2945,2	3020,4	23,4	11,8	276,1	54,5
					Promedio	52,4

## Anexo E: Resistencia a la compresión

<b>Tabla E.1: La Quinta Marcavelica</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	264,71	17404,56	65,75
2	270,03	12296,70	45,54
3	270,73	16458,66	60,79
4	266,00	18161,28	68,27
5	264,92	13431,78	50,70
		Promedio	58,21

<b>Tabla E.2: Cerro Mocho</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	263,74	18728,82	71,01
2	281,84	16080,30	57,05
3	255,64	15701,94	61,42
4	271,28	19863,90	73,22
5	262,52	16647,84	63,42
		Promedio	65,23

<b>Tabla E.3: La Unión</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	196,83	13810,14	70,16
2	217,21	9459,00	43,55
3	200,90	13242,60	65,92
4	200,70	13431,78	66,93
5	202,55	9459,00	46,70
		Promedio	58,65

<b>Tabla E.4: La Encantada Chulucanas</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	219,17	12675,06	57,83
2	219,55	11729,16	53,42
3	218,45	13053,42	59,75
4	221,65	15323,58	69,13
5	212,53	13242,60	62,31
		Promedio	60,49

<b>Tabla E.5: La Huaca</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	264,33	12675,06	47,95
2	277,33	11729,16	42,29
3	254,55	13053,42	51,28
4	267,37	15323,58	57,31
5	260,13	13242,60	50,91
		Promedio	49,95

<b>Tabla E.6: Piura</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	262,69	12675,06	48,25
2	269,47	11729,16	43,53
3	255,37	13053,42	51,12
4	263,76	15323,58	58,10
5	262,52	13242,60	50,45
		Promedio	50,29

<b>Tabla E.7: Ladrillera el Tallán</b>			
Muestra	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	277,96	13242,60	47,64
2	276,57	14188,50	51,30
3	275,75	13242,60	48,02
4	274,92	15134,40	55,05
5	274,46	15134,40	55,14
		Promedio	51,43