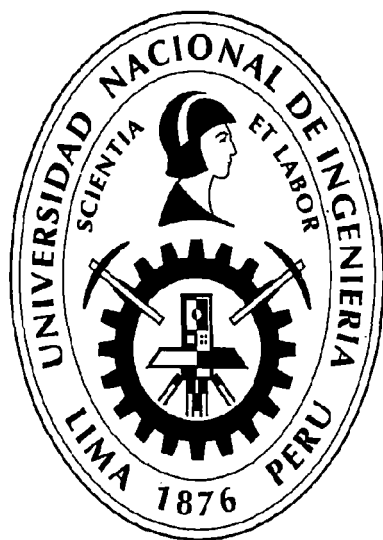


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA DE LAS  
CULTURAS MOCHE Y CHIMU**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**LISBETH PIMENTEL ALIAGA**

**Lima- Perú**

**2012**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

**SOLICITO: SUSTENTACIÓN DE TESIS**

SEÑOR DOCTOR:

JAVIER PIQUÉ DEL POZO

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

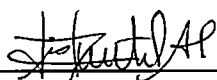
S.D.

Yo, Lisbeth Pimentel Aliaga DNI N° 41279685, con Código UNI 20001226G, Egresado de la Promoción 2006-1, de la especialidad de INGENIERIA CIVIL, ante Ud. Con todo respeto me presento y expongo:

Que, deseando optar el Título Profesional de INGENIERO CIVIL, con la sustentación de Tesis titulado: "ESTUDIO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA DE LAS CULTURAS MOCHE Y CHIMU", asesorado por el Ing. Edgar Rodríguez Zubiato, docente del Dpto. Acad. de Hidráulica e Hidrología, solicito a Usted, se sirva tramitar a quien corresponda la programación y sustentación de mi Tesis, con los Miembros del Jurado de Sustentación designado.

Por lo expuesto, agradezco la atención que le brinde a la presente.

Lima, 7 de Julio del 2012



Apellidos y Nombres

Código N° 20001226G

Adjunto:

- Plan de Tesis Original
- Constancia de Egresado original
- Certificado de Estudios-Depurado de Notas original
- Copia legalizada de Grado Académico de Bachiller por el Fedatario UNI.
- Constancia de No Adeudos
- Recibo por Título Profesional S/.1575

base de la información existente, un estudio técnico de estos antiguos sistemas de irrigación.

Debe señalarse que al ser esta infraestructura muy extensa, no podrá ser estudiada en su totalidad en esta tesis, por lo cual se trata también de interesar a otros investigadores para continuar con el trabajo.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe poca investigación referente a la Ingeniería Hidráulica en la cultura Moche-Chimú, por lo que partiendo de un mapa general de ubicación de las principales obras hidráulicas, de estudios generales existentes y de estudios in situ se identificaron algunas importantes estructuras hidráulicas para ser estudiadas en la presente tesis.

### 4. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL:

- Identificar y ubicar las principales obras hidráulicas de las culturas Moche-Chimú, entre los valles La Leche-Nepeña.
- Caracterizar las técnicas de Ingeniería Hidráulica de los antiguos pobladores Moche-Chimú.

#### OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Elaboración de un plano integral de la ubicación de los principales sistemas de canales limitado entre los valles La Leche-Nepeña
- Estudio del canal El Moro y funcionamiento hidráulico del acueducto de Ascope.
- Evaluación de su estado actual y recomendaciones para su conservación.

### 5. MARCO TEÓRICO:

Se centra en los siguientes aspectos:

- Fundamentos de Hidrología e Hidráulica.
- Fundamentos de Topografía.
- Fundamentos de Geología y Geotecnia.



## 6. ÍNDICE DE LA TESIS

Se propone el siguiente índice:

### INDICE

RESUMEN

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

INTRODUCCIÓN

### CAPITULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO

- 1.01 Conceptos básicos para el diseño hidráulico de los canales
- 1.02 Conceptos básicos para el diseño de sistemas de riego

### CAPITULO II. INFORMACIÓN BÁSICA

- 2.01 Ubicación
- 2.02 Historia y función de la infraestructura hidráulica
- 2.03 Geografía Física
- 2.04 Situación Actual de la Zona de Estudio

### CAPITULO III. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA MOCHE Y CHIMU

- 3.01 Infraestructuras de riego Moche y/o Chimú
- 3.02 Técnicas Constructivas de la infraestructura hidráulica Moche y Chimú.
- 3.03 Canal El Moro y el Acueducto de Ascope

### CAPITULO IV. ESTUDIO DEL CANAL EL MORO Y EL ACUEDUCTO DE ASCOPE

- 4.01 El canal El Moro, actualmente en funcionamiento.
- 4.02 El acueducto de Ascope

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBIOGRAFÍA

ANEXOS

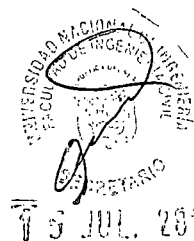




## 7. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de la investigación se realizará bajo la siguiente metodología:

- Recopilación de Información para la confección de un mapa general de ubicación de los canales prehispánicos, por lo que:
  - Se reunirá material bibliográfico referente a Arqueología e Historia en diversas bibliotecas especializadas.
  - Se buscará información en Internet.
  - Se obtendrán las cartas nacionales y/o imágenes satelitales donde se ubicará la infraestructura hidráulica, este procedimiento se realizará utilizando las herramientas del Autodesk.
- Selección de la zona de estudio a partir del plano general previamente elaborado.
- Reconocimiento en campo de la zona elegida para el estudio detallado y la evaluación de su estado actual; con este fin:
  - Se realizarán viajes para el reconocimiento y recopilación de información complementaria, en bibliotecas y/o INC de sitio.
- Se efectuará el levantamiento topográfico del canal en estudio y se tomarán las muestras de campo que sean convenientes.
- En gabinete; se procesarán los datos obtenidos del trabajo de campo.



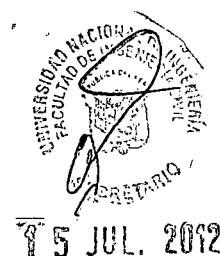
## 8. CRONOGRAMA DE TRABAJO

ACTIVIDADES GENERALES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Recopilación de Información Básica	////					
Elaboración del plano general	////	////				
Aprobación de plan de tesis		////				
Estudio de campo			////	////		
Análisis e interpretación de resultados				////	////	
Conclusiones y recomendaciones					■	
Edición e impresión de la tesis						////
Revisión y aprobación						////



## 9. BIBLIOGRAFÍA DEL PLAN DE TESIS

1. **Herbert H., Eling, Jr.**  
"Interpretaciones preliminares del sistema de riego antiguo de Talambo en el valle de Jequetepeque, Perú".  
Anales III Congreso Peruano El Hombre y la Cultura Andina. Tomo II  
Lima, Perú, 1977.
2. **Kosok, Paul**  
"El Valle de Lambayeque"  
Actas y Trabajos del II Congreso Nacional de Historia del Perú 1:69-76.  
Lima, Perú, 1959.
3. **Kus Kus, James S.**  
"CANAL DE LA CUMBRE"  
Boletín de Lima N° 39 Año 7, Revista Científica.  
Lima, Perú, 1985.
4. **Lumbreras, Luis Guillermo**  
"De Los Pueblos, Las Culturas Y Las Artes Del Antiguo Perú"  
Luis Moncloa - Campodónico Editores Asociados, Primera Edición.  
Lima, Perú, 1969.
5. **Ortloff, Charles R.**  
"La Ingeniería Hidráulica Chimú"  
Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.  
Lima, Perú, 1981.
6. **Rodríguez Suy Suy, Víctor A.**  
"Irrigación Prehistórica en el valle de Moche".  
Publicación del museo de Sitio Chavimochic, Año I N.1 (3)  
Trujillo, Perú, 1973.



Bach. Lisbeth Pimentel Aliaga  
20001226G  
TESISTA

Ing. Edgar Rodríguez Zubiato  
ASESOR

A mis padres, por su abnegada dedicación y por guiar mis pasos.

A mis amigos por la constante motivación y apoyo.

---

<b>INDICE</b>		<b><u>Pág.</u></b>
<b>RESUMEN</b>		<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>8</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS</b>		<b>10</b>
<b>INTRODUCCION</b>		<b>12</b>
 <b>CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO</b>		
<b>1.1</b>	<b>CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LOS CANALES</b>	<b>13</b>
1.1.1	Flujo en canales	13
1.1.2	Energía total y específica en canales	14
1.1.3	Elementos de diseño de canales	15
1.1.4	Consideraciones de diseño de canales erosionables	16
1.1.5	Diseño de canales erosionables	20
<b>1.2</b>	<b>CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO</b>	<b>22</b>
1.2.1	Uso consuntivo	22
1.2.2	Evapotranspiración potencial ( $E_t_o$ )	24
1.2.3	Evapotranspiración real ( $E_t_r$ )	24
1.2.4	Demanda de agua para uso agrícola	26
1.2.5	Relaciones entre suelo, agua y planta	27
 <b>CAPÍTULO II: INFORMACIÓN BÁSICA</b>		
<b>2.1</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>HISTORIA Y FUNCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA</b>	<b>30</b>
2.2.1	Cultura Moche	30



2.2.2	Cultura Chimú	32
2.2.3	Periodo de construcción de la infraestructura hidráulica	34
2.2.4	Agricultura	35
<b>2.3</b>	<b>GEOGRAFÍA FÍSICA</b>	<b>36</b>
2.3.1	Topografía y relieve	36
2.3.2	Clima	37
2.3.3	Geología regional	41
2.3.4	Suelos, uso y potencial	41
2.3.5	Hidrografía	41
<b>2.4</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>45</b>
2.4.1	Población actual	45
2.4.2	Vías de comunicación actual	45
2.4.3	Principales Proyectos de irrigación en la costa norte	46
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA MOCHE Y CHIMÚ</b>		
<b>3.1</b>	<b>PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS ANTERIORES</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>POTENCIALIDAD DE LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y SISTEMAS DESARROLLADOS PARA LA AGRICULTURA</b>	<b>52</b>
<b>3.3</b>	<b>INFRAESTRUCTURA PRINCIPAL DE RIEGO EN EL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>56</b>
3.3.1	Bocatomas	57
3.3.2	Canales	57
3.3.3	Acueductos	59
3.3.4	Embalses	59
<b>3.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y CRITERIOS TÉCNICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA MOCHE Y CHIMÚ</b>	<b>60</b>

---

3.4.1	Bocatomas	61
3.4.2	Canales	61
3.4.3	Acueductos	68
<b>CAPÍTULO IV: ESTUDIO DEL CANAL EL MORO Y EL ACUEDUCTO DE ASCOPE</b>		
<b>4.1</b>	<b>ESTUDIO DEL CANAL EL MORO</b>	<b>72</b>
4.1.1	Información General	72
4.1.2	Estudios Realizados	74
4.1.3	Análisis Hidráulico del Canal	76
<b>4.2</b>	<b>ESTUDIO DE EL ACUEDUCTO DE ASCOPE</b>	<b>86</b>
4.2.1	Información General	86
4.2.2	Estudios Realizados	89
4.2.3	Análisis Hidráulico del Canal	98
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>122</b>
<b>ANEXOS</b>		
1.	ANEXO 1: Resultados de Laboratorio Geotecnia	127
2.	ANEXO 2: Análisis de Estabilidad de Taludes del Terraplén	134
3.	ANEXO 3: Planos	139

## RESUMEN

La presente tesis titulada Estudio de la Infraestructura Hidráulica de las Culturas Prehispánicas Moche y Chimú, se presenta una descripción general de la infraestructura hidráulica desarrollada por las culturas mencionadas que se establecieron y desarrollaron en la Costa norte del Perú, haciendo énfasis en el estudio de dos estructuras de importancia como son el canal El Moro ubicado en el Valle de Moche, y el Acueducto de Ascope ubicado en el Valle de Chicama.

Se han elaborado planos de ubicación de la infraestructura hidráulica emplazada entre los valles La Leche y Nepeña, de esta información se determinó que la red de canales de irrigación, suman aproximadamente 816 km distribuidos en los diferentes valles. En la actualidad muchos de estos canales continúan en funcionamiento previa rehabilitación y actual mantenimiento por parte de los actuales pobladores.

Uno de los principales problemas que enfrentaron los antiguos pobladores de estas culturas en especial en lo que concierne al mantenimiento y la construcción de las estructuras fue, como hasta hoy en día, el factor climático especialmente en temporadas de El Fenómeno de El Niño, puesto que las estructuras no estaban diseñadas para soportar lluvias intensas, tal como se evidencia en los vestigios del canal antiguo San Antonio, específicamente en los tramos de cruces de quebradas que al no presentar ninguna estructura de descarga, en su mayoría, éstos tramos se encuentran en muy mal estado o destruidos.

Los criterios y procedimientos técnicos utilizados en la construcción de la infraestructura fue perfeccionándose con el tiempo, así por ejemplo se encontraron dos tipos de procedimientos constructivos de los terraplenes; el del Acueducto de Ascope que consistía en capas horizontales compactas y el de otro terraplén "más antiguo", ubicado cerca al primero que consistía en adobitos colocados en forma piramidal, de éstos el primero se encuentra en buenas condiciones pero el segundo está bastante erosionado.

Es evidente que el manejo del agua y forma de cultivo de los Mochicas y Chimúes tuvieron características extraordinarias en cuanto a los aspectos

ingenieriles relativos a la construcción de los sistemas de canales y de acueductos; tenían un buen manejo del sistema suelo-riego lo cual se evidencia con los vestigios de campos de cultivo y estructuras hidráulicas, principalmente canales, que no son aprovechados actualmente.

Los conocimientos de ingeniería desarrollados por las culturas Moche y Chimú pueden aplicarse en la actualidad, por lo menos para la rehabilitación de la infraestructura de riego que también tiene un valor histórico y cultural, por lo que deben ser rescatadas utilizando las técnicas originales en la medida de lo posible.

**LISTA DE TABLAS**

<b>Nº</b>	<b>Ítem</b>	<b><u>Pág.</u></b>
1.1	Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad $n$	18
1.2	Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey (1926) para canales rectos con pendientes pequeñas y añejada	20
1.3	Velocidades medias de la corriente de agua que son admisibles (No Erosivas) para suelos cohesivos, en m/s	20
1.4	Taludes $Z$ , recomendables en cortes y rellenos	21
1.5	Ángulos de reposo de partículas	21
1.6	$K_c$ promedio para diferentes cultivos y en diferentes etapas de crecimiento, usados en la cultura Moche y Chimú	27
1.7	Características de diferentes tipos de suelo (FAO, 1998)	30
2.1	Cuadro Cronológico de las Eras o Estados Culturales de la Costa Norte, según Kauffman (1978)	35
2.2	Aspectos Involucrados en los severos daños asociados a los Grandes Fenómenos de El Niño en la actualidad	38
2.3	Relación de MEGANIÑOS (1532-2002)	39
2.4	Temperaturas registradas en la costa norte	40
2.5	Descargas en algunos ríos ubicados en el área de estudio	44
2.6	Población Total Censada según Provincias 1981, 1993, 2005 y 2008	45
2.7	Beneficios actuales y proyectados del Proyecto CHAVIMOCNIC	48
3.1	Utilización de los suelos en la época Moche	52
3.2	Ubicación de la Infraestructura Hidráulica, Clasificada por Valles	57
3.3	Inventario de la Infraestructura Hidráulica, Bocatomas	57
3.4	Inventario de la Infraestructura Hidráulica, Canales	58

---

3.5	Inventario de la Infraestructura Hidráulica, Acueductos	59
3.6	Inventario de la Infraestructura Hidráulica, Embalses	59
4.1	Estación Hidrométrica Quirihuac	75
4.2	Registro Histórico Estación Hidrométrica Quirihuac	77
4.3	Infraestructura menor de riego en el Canal El Moro (2008)	78
4.4	Revestimiento del Canal El Moro (2008)	82
4.5	Distancias a la zona de Estudio	87
4.6	Estación Casa Grande	89
4.7	Estación Hidrométrica Salinar	93
4.8	Registro Histórico Estación Hidrométrica Salinar	96
4.9	Taludes laterales del Canal	104
4.10	Pendiente ponderada del Canal-Acueducto	106
4.11	Clasificación de las Muestras de Suelo del Terraplén	109
4.12	Partida Relleno Compactado	111
4.13	Estación Meteorológica Casa Grande	113
4.14	Resultado de la Demanda de Agua del cultivo de maíz, software CROPWAT	114

**LISTA DE FIGURAS**

<b>N°</b>	<b>Ítem</b>	<b><u>Pág.</u></b>
1.1	Geometría del canal	16
1.2	Esfuerzo cortante crítico en suelos cohesivos	24
1.3	Representación de las etapas de crecimiento de un cultivo	27
1.4	Representación de las subzonas de humedad en el suelo	30
2.1	Áreas de Influencia de la Cultura Moche según diferentes autores	31
2.2	(a) Idealización de la papa (b) El creador de los mochicas desgrana las mazorcas del maíz, valiéndose de los métodos de aquella época	32
2.3	Croquis de Chan Chan con la ubicación de sus principales sectores: ciudadelas, barrios populares, arquitectura y chacras hundidas (mahamaes)	33
2.4	(a) Ingreso principal de una de las ciudadelas en Chan Chan (b) Detalle de los frisos en la muralla	34
2.5	Cuenca del Río Santa	42
2.6	Cuenca del Río Chao	43
2.7	Cuenca del Río Virú	43
2.8	Cuenca del Río Moche	44
2.9	Cuenca del Río Chicama	44
2.10	Esquema General del Proyecto CHAVIMOCHIC	49
2.11	Esquema General del proyecto CHINECAS	50
3.1	Forma de riego de los Huachaques	53
3.2	Esquema de Bocatomas Rústicas	61
3.3	Tipología de Canales Prehispánicos	63
3.4	Canal Intervalle La Cumbre	65

3.5	Sección transversal del Canal La Cumbre (1973)	66
3.6	Acueducto con orificio tipo alcantarilla, Valle de Moche	70
4.1	Ubicación del Canal El Moro	73
4.2	Fases de Desarrollo del Canal El Moro	74
4.3	Cuenca del Río Moche desde la Bocatoma del Canal El Moro	75
4.4	Hidrograma Estación Quirihuac	76
4.5	Esquema del sistema de irrigación del Canal El Moro	79
4.6	Sección Típica Promedio del Canal original El Moro (0+000-1+000)	83
4.7	Sistema de Irrigación La Laguna	86
4.8	Cuenca del Río Chicama a la altura de la Bocatoma del Canal San Antonio	95
4.9	Hidrograma Estación Salinar	95
4.10	Variación de la Sección Transversal a lo largo del Acueducto	103
4.11	Sección Típica Promedio del Canal-Acueducto, Sección T0	104
4.12	Sección Típica Simétrica del Canal-Acueducto, Sección T0'	105
4.13	Sección Típica del Canal-Acueducto, Sección T0'	107



## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

A	Área de la sección del canal
B	Ancho de la base del canal
B.L	Borde libre
CC	Capacidad de campo
D <sub>a</sub>	Demanda de agua
D <sub>p</sub>	Demanda de agua bruta para uso agrícola
D <sub>a</sub>	Demanda de agua neta para uso agrícola
d	Diámetro de sedimento de tamaño uniforme
E <sub>a</sub>	Eficiencia de aplicación
E <sub>c</sub>	Eficiencia de conducción
E <sub>d</sub>	Eficiencia de distribución
E <sub>r</sub>	Eficiencia de riego
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiración potencial
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiración real
e	Relación de vacíos
Fr	Número de Froude
G <sub>s</sub>	Gravedad específica de los sólidos
G	Densidad de flujo de calor del suelo
g	Aceleración de la gravedad
K	Permeabilidad del terreno
K <sub>c</sub>	Coefficientes de cultivo
L	Longitud característica
n	Coefficiente de Manning
P	Pérdida por infiltración
P	Perímetro mojado
PM	Punto de marchites
Q	Caudal
R	Radio Hidráulico
R <sub>n</sub>	Radiación neta en la superficie del cultivo
S <sub>0</sub>	Pendiente del canal
T	Temperatura del aire
V	Velocidad media del fluido
V <sub>ad.</sub>	Velocidad admisible

$y$	Tirante
$z$	Elevación del fondo con respecto a un eje de referencia
$z$	Talud del canal
$\rho$	Densidad del fluido respectivamente
$e_s$	Presión de vapor de saturación
$e_a$	Presión de vapor actual
$\gamma$	Peso específico del fluido
$\gamma$	Constante psicométrico
$\gamma_s$	Peso específico del material de fondo
$u_2$	Velocidad del viento
$\nu$	Viscosidad cinemática del fluido
$\tau_c$	Esfuerzo cortante necesario para la iniciación del movimiento
$\tau_0$	Esfuerzo cortante o tractivo
	Ángulo de fricción interna del suelo
$\Delta$	Pendiente de la curva de presión de vapor

ASTM	American Society for Testing and Materials
CEPES	Centro Peruano de Estudios Sociales
CHAVIMOCHIC	Chao, Virú, Moche y Chicama
CHINECAS	Chicama, Nepeña y Casma
ICID	International Commission for Irrigation and Drainage
INIE	Instituto Nacional de Estadística e Informática
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
MN	Meganiño
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
UTM	Universal Transverse Mercator

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis es identificar y ubicar las principales obras hidráulicas, entre los valles La Leche y Nepeña y caracterizar las técnicas generales de Ingeniería Hidráulica que se utilizaron en estas épocas, en base a estudios anteriores e investigaciones de campo. Además, de la vasta red de canales se eligieron al canal El Moro y El Acueducto de Ascope para realizar una evaluación de su funcionamiento hidráulico y características constructivas.

En el Capítulo 1, se realiza un breve repaso de los conceptos básicos actuales para el diseño hidráulico en canales erosionables y para el diseño de sistemas de riego, que servirán como referencia para los análisis del canal El Moro y El Acueducto de Ascope.

Para conocer el entorno histórico y geográfico en el que se desarrollaron estas culturas, en el Capítulo 2 se hace una breve descripción de la historia de las culturas Moche y Chimú y la función que tuvo la infraestructura hidráulica en estas culturas, además se hace la descripción de la geografía física de la zona y de su situación actual.

En el Capítulo 3, se realiza la descripción general y criterios técnicos utilizados en la construcción de las principales estructuras hidráulicas de las culturas Moche y Chimú, tales como: bocatomas, canales, acueductos y embalses; además, se presenta el inventario de estas estructuras en planos del IGN que servirán como referencia para futuras investigaciones.

Finalmente en el Capítulo 4, se analizan las características hidráulicas y procedimientos técnicos que desarrollaron los antiguos pobladores de las culturas Moche y Chimu, en la construcción de canales de irrigación, en esta tesis se estudian dos estructuras: el canal El Moro, en el valle de Moche y el acueducto de Ascope, en el valle de Chicama. El canal El Moro se encuentra actualmente en funcionamiento pero conserva las características hidráulicas desde su origen y el acueducto de Ascope se encuentra fuera de funcionamiento pero el 90% de la estructura se encuentra en buen estado de conservación.

## CAPÍTULO I FUNDAMENTO TEÓRICO

Los vestigios de los extensos campos de cultivo y de la infraestructura hidráulica encontrados en el área que ocuparon las culturas Moche-Chimú, demuestran que tuvieron una ardua labor agrícola logrando extender sus áreas de cultivo.

En este capítulo se desarrollan los conceptos básicos actuales para el diseño hidráulico en canales erosionables y para el diseño de sistemas de riego, que servirán como referencia para los análisis en los capítulos siguientes.

### 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LOS CANALES

Los sistemas de irrigación están constituidos principalmente por la captación del agua superficial de los ríos, y la conducción de ésta a través de canales, es por esto que se presenta un pequeño resumen de los conceptos básicos del flujo en canales.

#### 1.1.1 Flujo en canales

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de la gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.

##### a) Efecto de la gravedad

El efecto de la mayor o menor influencia de las fuerzas gravitacionales sobre las condiciones del escurrimiento se expresa por el parámetro adimensional denominado como el Número de Froude, el cual se define de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1-1)$$

El número de Froude representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas gravitacionales.

Siendo:

V = Velocidad media del escurrimiento, m/s

g = Aceleración de la gravedad, m<sup>2</sup>/s

L = Longitud característica (considerada como el tirante hidráulico, para canales), m

- Flujo subcrítico, ( $Fr < 1$ )

En este régimen de flujo las fuerzas inerciales son sobrepasadas en importancia por las fuerzas gravitacionales, el flujo tiene velocidades y pendientes bajas y a menudo se describe como tranquilo y de corriente lenta.

- Flujo crítico ( $Fr = 1$ )

Este régimen el flujo presenta una combinación de fuerzas inerciales y gravitacionales que lo hacen inestable, convirtiéndose de cierta manera en un estado intermedio y cambiante entre los otros dos tipos de flujo. Debido a esto es bastante inaceptable y poco recomendable, usarlo en el diseño de estructuras hidráulicas. En esta condición no se generan resaltos hidráulicos.

- Flujo supercrítico, ( $Fr > 1$ )

En este estado las fuerzas inerciales se vuelven dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido, ultrarrápido y torrencial.

### 1.1.2 Energía total y específica en canales

La energía de la corriente en una sección determinada de un canal es igual a la suma del tirante, la energía de velocidad y la elevación del fondo con respecto a un plano horizontal de referencia arbitrariamente escogido y se expresa así:

$$Et = z + y + \frac{V^2}{2g} \quad (1-2)$$

z = elevación del fondo con respecto a un nivel de referencia, m

y = Tirante, m

V = Velocidad media de la corriente en la sección considerada, m/s

g = Aceleración de la gravedad, m<sup>2</sup>/s

Si tomamos como plano de referencia el fondo del canal, la energía así calculada se denomina energía específica y se designa con la letra E.

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (1-3)$$

### 1.1.3 Elementos de diseño de canales

#### a) Velocidad del agua (V)

Se define así al desplazamiento del agua por unidad de tiempo, en una sección de canal existe una distribución de velocidades en toda su área, sin embargo, la velocidad con la que generalmente se trabaja es la velocidad media y es calculada dividiendo el caudal entre el área total de la sección de canal.

#### b) Pendiente de fondo del canal (S)

Se define así a la variación de la posición vertical de la base del canal a lo largo de su recorrido con respecto a la horizontal.

La gradiente hidráulica es igual a "s" en un flujo uniforme.

#### c) Geometría del canal

Las características geométricas básicas para un diseño hidráulico son:

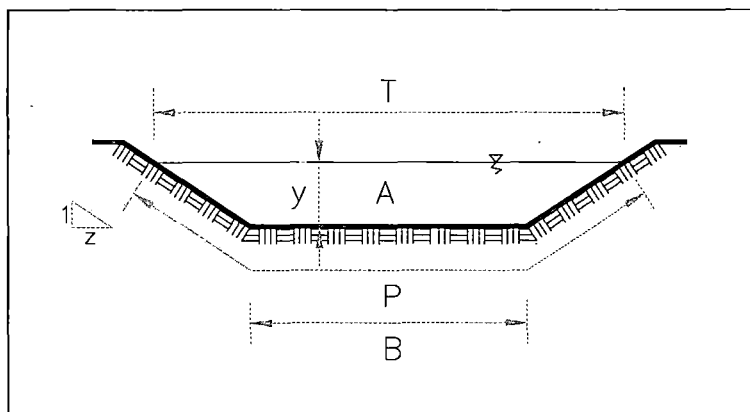


Figura 1.1 - Geometría del canal

#### - Tirante (Y)

Es la distancia vertical del punto mas bajo de la sección de un canal a la superficie libre.

#### - Ancho Hidráulico (T)

Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

- Área Mojada(A)

Es el área de una sección transversal del canal limitado por la superficie de agua.

- Perímetro Mojado (P)

Es la longitud de la línea de intersección de la superficie mojada del canal con el plano de la sección transversal normal a la dirección del flujo.

- Radio Hidráulico (R)

Es la razón entre el área mojada y el perímetro mojado.

**d) Coeficiente de rugosidad 'n' de Manning**

La ecuación de Manning, es una ecuación que se aplica en el cálculo de canales, la fórmula está definida por:

$$V = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (1-4)$$

Donde: n es llamado el coeficiente de rugosidad de Manning. Es un parámetro que permite establecer que tan rugosa es la superficie del canal, ya que esta influye en la formación y desarrollo del flujo de agua. Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de "n", principalmente en cursos naturales.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (1-5)$$

Los valores y el significado de los factores para el cálculo del coeficiente de rugosidad se presentan en la Tabla 1.1.

Para el cálculo de "n" en tramos de canales cortos, se considera  $m=1$ .

**1.1.4 Consideraciones de diseño de canales erosionables**

No se ha encontrado evidencia de revestimiento de los canales construidos por las culturas Moche y Chimú.

Los canales sin recubrimiento, son erosionables; a excepción de aquellos que se excavan en fundación firme, como en roca. Por lo tanto el diseño del canal debe hacerse considerando que no va a estar revestido. La estabilidad de los canales erosionables, de la que gobierna el diseño, depende principalmente de

las propiedades del material que forma los contornos del canal antes que de las condiciones hidráulicas del flujo.

Solo después de que se obtenga una sección estable del canal erosionable se pueden aplicar las ecuaciones del flujo uniforme para el cálculo de la velocidad y del caudal.

Cuando se diseña un canal para que resista la erosión será necesario comprobar finalmente que la velocidad no sea tan pequeña como para que las corrientes que lleven sedimentos en suspensión los depositen.

Tabla 1.1 - Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad  $n$

Condiciones del Canal		Valores	
Material considerado	Tierra	$n_0$	0,020
	Roca cortada		0,025
	Grava fina		0,024
	Grava gruesa		0,028
Grado de irregularidad	Liso	$n_1$	0,000
	Menor		0,005
	Moderado		0,010
	Severo		0,020
Variaciones de la seccion transversal del canal	Gradual	$n_2$	0,000
	Ocasionalmente alternante		0,005
	Frecuentemente alternante		0,01-0,015
Efectivo relativo de obstrucciones	Despreciable	$n_3$	0,00
	Menor		0,01-0,015
	Apreciable		0,02-0,03
	Severo		0,04-0,06
Vegetacion	Baja	$n_4$	0,005-0,01
	Media		0,01-0,025
	Alta		0,025-0,050
	Muy alta		0,050-0,1
Cantidad de meandros	Menor	$m_5$	1,000
	Apreciable		1,150
	Severa		1,300

Fuente: Hidráulica de los Canales Abiertos (Ven Te Chow 2004)

**a) Velocidad Máxima**

La máxima velocidad permisible es la mayor velocidad que no causará erosión en los contornos del canal. En general, los canales viejos soportaran mayores



velocidades que los nuevos ya que en aquellos el fondo esta mejor estabilizado debido a la deposición de sustancias coloidales. Fortier y Scobey (1926) (en French, 1988) presenta la Tabla 1.2 y Maza (1967) (en Aguirre, 1974), Tabla 1.3 de velocidades máximas no erosivas para suelos cohesivos.

#### **b) Velocidad Mínima**

Esta velocidad, evidentemente, depende del tamaño de los sedimentos que son acarreados. Si el agua no transporta sedimentos, la velocidad mínima es un valor que no tiene significación, excepto por su influencia en el crecimiento de plantas. En general, se puede tomar una velocidad media mínima entre 0,60 y 0,90 m/s con cierta seguridad de que no se producirá sedimentación cuando el porcentaje de material suspendido es pequeño. Una velocidad media no menor de 0,75 m/s evitara el crecimiento de plantas que puedan limitar la capacidad del canal.

#### **c) Taludes**

La estabilidad de los taludes de los canales está relacionada con el ángulo de reposo del suelo, mas aun este tiene consideraciones superiores cuando su contextura es afectada por la humedad y la fuerza tractiva. Según diferentes referencias (en Coronado, 1992), los taludes recomendados para diferentes tipos de suelo se presentan en la Tabla 1.4 y según Hough (1957) (en Coronado, 1992) en la Tabla 1.5 se muestra el ángulo de reposo de diferentes suelos. Se recomienda que el ángulo del talud sea menor que el ángulo de reposo del terreno, en el cual los valores menores son para suelos con partículas redondeadas y mayores para partículas duras y angulosas.

#### **d) Borde libre**

Según Coronado (1992), el borde libre  $f$ , es una altura adicional al tirante de agua, que debe ser suficiente para evitar desbordamientos por los incrementos imprevistos del tirante.

Para determinar esta altura, se utilizan las siguientes fórmulas:

- Para canales sin revestir :  $f = 1/3*y$
- Para canales revestidos :  $f = 1/5*y$

Tabla 1.2 - Velocidades máximas permisibles para canales rectos con pendientes pequeñas y afeñadas

	n <sup>2</sup>	Agua Limpia		Agua con limos coloidales	
		u m/s	$\tau_0$ N/m <sup>2</sup>	u m/s	$\tau_0$ N/m <sup>2</sup>
Arenas finas, no coloidales	0,020	0,457	1,29	0,762	3,59
Franco arenoso, no coloidal	0,020	0,533	1,77	0,762	3,59
Franco limoso, no coloidal	0,020	0,610	2,30	0,914	5,27
Limos aluviales, no coloidales	0,020	0,610	2,30	1,070	7,18
Tierra negra firme comun	0,020	0,762	3,59	1,070	7,18
Geniza Volcanicá	0,020	0,762	3,59	1,070	7,18
Arcilla dura, muy coloidal	0,025	1,140	12,40	1,520	22,00
Limos aluviales, coloidales	0,025	1,140	12,40	1,520	22,00
Pizarra y Tepetate	0,025	1,830	32,10	1,830	32,10
Grava fina	0,020	0,762	3,59	1,520	15,30
Tierra negra graduada a piedritas cuando no es coloidal	0,030	1,140	18,20	1,520	31,60
Limos graduados a piedritas cuando es coloidal	0,030	1,220	20,60	1,680	38,30
Grava gruesa no coloidal	0,025	1,220	14,40	1,830	32,10
Piedritas y ripio	0,035	1,520	43,60	1,680	52,70

Fuente: Fortier y Scobey

Tabla 1.3 - Velocidades medias de la corriente de agua que son admisibles (No Erosivas) para suelos cohesivos, en m/s

Denominación de los suelos	Porcentaje del contenido de partículas		Profundidades medias de la corriente (m)															
			Suelos poco compactos, peso volumetrico del material seco hasta 1,66 t/m3				Suelos medianamente compactos, peso volumetrico del material seco de 1,20 - 1,66 t/m3				Suelos compactos, peso volumetrico del material seco de 1,66 - 2,04 t/m3				Suelos muy compactos, peso volumetrico del material seco de 2,04 - 2,14 t/m3			
Arcillas, tierras	<0,005	0,05>	0,40	1,00	2,00	3,00	0,40	1,00	2,00	3,00	0,40	1,00	2,00	3,00	0,40	1,00	2,00	3,00
Fuertemente arcillosas	30 - 50	70 - 50	0,35	0,40	0,45	0,50	0,70	0,85	0,95	1,10	1,00	1,20	1,40	1,50	1,40	1,70	1,90	2,10
Tierras ligeramente arcillosas	20 - 30	80 - 70	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65	0,80	0,90	1,00	0,95	1,20	1,40	1,50	1,40	1,70	1,90	2,10
Suelos de aluvion	10 - 20	90 - 80																
Arcillas margosas							0,60	0,70	0,80	0,85	0,80	1,00	1,20	1,30	1,10	1,30	1,50	1,70
Tierras arenosas	5 - 10	20 - 40	Según la Tabla 1.2 en relación con el tamaño de las fracciones arenosas.															

Fuente: Maza (1967)

Tabla 1.4 - Taludes Z, recomendables en cortes y rellenos

Material	Corte	Relleno
Roca dura o sana	1/4 - 1/5	1
Roca blanda o fisurada	1/2 - 2/3	1
Roca suelta, Grava cementada arcilla y hardpan ordinario	3/4 - 4/5	3/4
Arcilla con grava, suelo franco	1	1
Suelo franco con grava	1 1/2	1 1/2
Arena y Grava y arena bien	1 1/2 - 2	1 1/2 - 2
Arena fina y limo (no plastico)	2 - 3	2

Fuente: Coronado

Tabla 1.5 - Ángulos de reposo de partículas

Material	Ángulo $\phi$
Limo (no plastico) < 0.062 mm	26° - 30°
Arena uniforme fina o media < 0.5 mm	26° - 30°
Arena bien graduada < 2.0 mm	30° - 34°
Arena y grava < 64 mm	32° - 36°

Fuente: Hough (1957)

### 1.1.5 Diseño de canales erosionables

A continuación se describen los procedimientos más usuales para el cálculo de la sección estable en canales erosionables.

#### a) Método de la velocidad permisible

Aguirre (1974), menciona que la máxima velocidad permisible es la velocidad que no causará seria erosión en el perímetro del canal. Esta velocidad es muy imprecisa y variable y sólo se puede estimar con experiencia previa y buen juicio. En general, los canales viejos soportarán mayores velocidades que los nuevos ya que en aquellos el fondo está mejor estabilizado.

Usando la velocidad máxima permisible como criterio, el procedimiento de diseño para un canal, con sección trapezoidal, se puede seguir los siguientes pasos:

- Estimar el coeficiente de rugosidad  $n$ , de acuerdo con el material que compone el canal (Tabla 1.1); el ángulo del talud (Tabla 1.4) y la velocidad máxima permisible (Tablas 1.3)
- Calcular el Radio hidráulico  $R$  por la fórmula de Manning.
- Calcular el área mojada requerida para el caudal dado y la velocidad máxima permisible  $A=Q/V$
- Calcular el perímetro mojado  $P=A/R$
- Empleando las funciones  $A$  y  $P$  en función del ancho "b" de la base y la profundidad "y", resolver para "b", "e", "y".

#### b) Método de la fuerza tractiva

Este método se basa en el esfuerzo cortante que provoca el flujo (taludes y fondo) y en el esfuerzo cortante crítico que resisten los materiales que lo conforman.

Cuando el agua fluye en un canal el, el esfuerzo cortante o tractivo  $\tau_0$ , que se genera en los contornos del mismo tiende a producir arrastre del material que lo compone.

$$\tau_0 = \gamma R S_0 \quad (1-7)$$

Donde:

$S_0$  = Pendiente Hidráulica, m/m

$R$  = Radio Hidráulico, si el canal es ancho  $R=y$

$\gamma$  = Peso específico del fluido,  $\text{kg/m}^3$

Shields encontró, mediante consideraciones dimensionales que el esfuerzo cortante para material suelto no cohesivo que:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{\sqrt{\tau_c} d}{\rho v}\right) \quad (1-8)$$

Donde:

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante necesario para la iniciación del movimiento,  $\text{kg/m}^2$

$\gamma_s$  = Peso específico del material de fondo,  $\text{kg/m}^3$

$\gamma, \rho$  = Peso específico y densidad del fluido respectivamente

$d$  = Diámetro de sedimento de tamaño uniforme, m

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido,

Debido a que el material del fondo, en canales, no es uniforme se ha adoptado el empleo del diámetro  $d_{75}$  que corresponde al 75% del material, en peso del análisis granulométrico como diámetro de diseño. Se puede usar en forma general la siguiente ecuación:

$$\tau_c = 0,056(\gamma_s - \gamma)d_{75} \quad (1-9)$$

En la Figura 1.2 se presentan los esfuerzos cortantes críticos en suelos cohesivos.

## 1.2 CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO

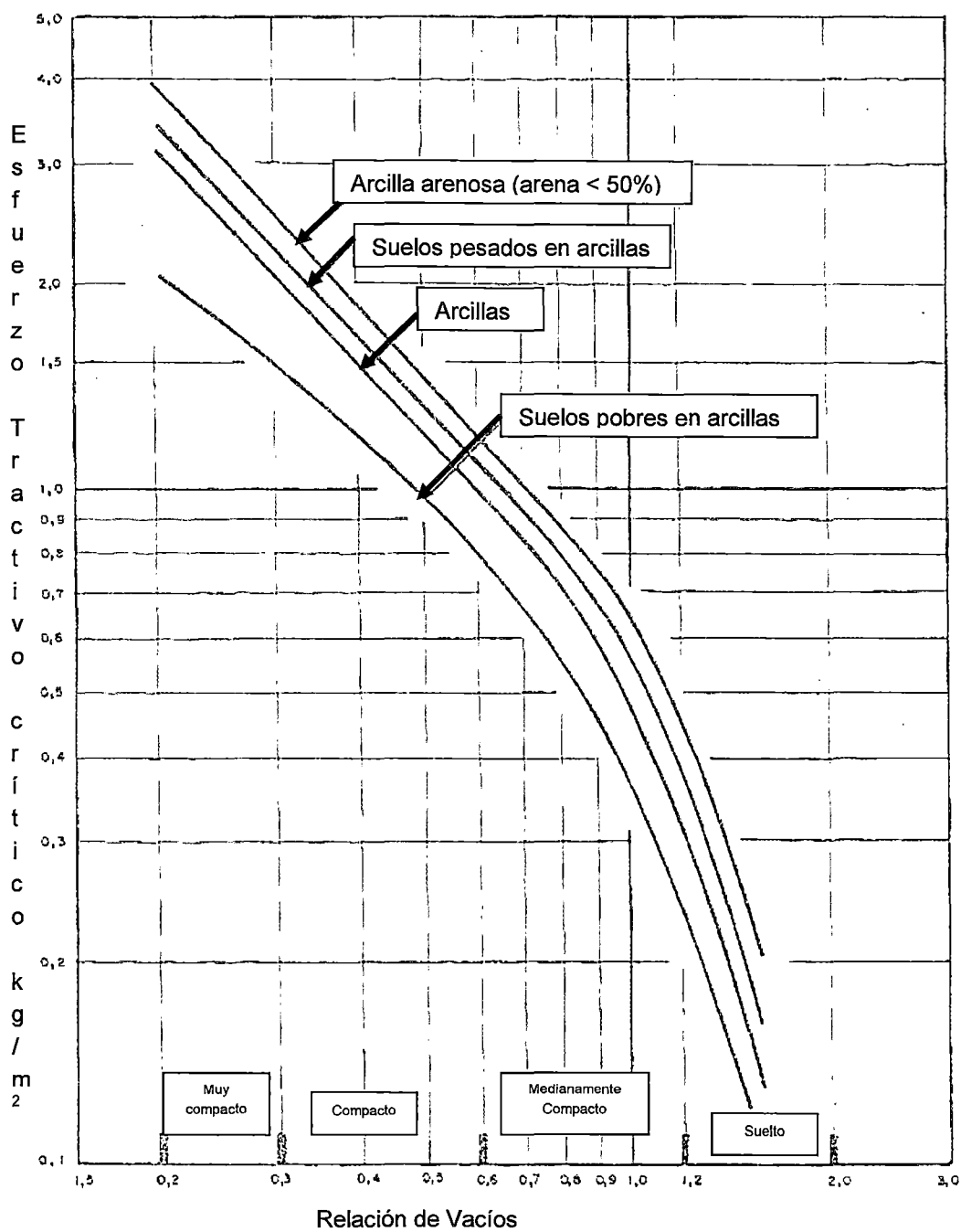
Las culturas Moche y Chimú cultivaban principalmente maíz, pallares, frijoles, camote, zapallo, yuca y entre los frutales; pepinos, guanábanos, guayabas y pacaes; estos cultivos requieren de cierta demanda de agua.

Se presentan los siguientes conceptos para poder analizar la demanda de consumo de agua y la extensión del área que puede ser irrigada por un determinado cultivo.

### 1.2.1 Uso consuntivo

Se expresa mediante la tasa de evapotranspiración en mm/día o mm/mes, la cual depende, además de los factores del clima que afectan a la evapotranspiración (temperatura, humedad del aire, viento e intensidad de la radiación solar), de las características fisiográficas de la cobertura vegetal y de la disponibilidad del agua en el suelo para satisfacer la demanda hídrica de la planta (transpiración y nutrición).

Como la cantidad de agua que utiliza la planta para nutrirse es solo el 1% de la que transpira, los términos uso consuntivo y evapotranspiración se pueden tomar como sinónimos.



Fuente: Hydrotechnical Construction (1936) en (Aguirre 1974)

Figura 1.2 - Esfuerzo cortante crítico en suelos cohesivos

### 1.2.2 Evapotranspiración potencial ( $ET_0$ )

La evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ), llamado evapotranspiración potencial ( $ET_p$ ) por algunos autores, es un parámetro climático que expresa el potencial de evaporación de la atmosfera; esta referida a la evapotranspiración que se produce en una superficie extensa, cubierta de una vegetación de escasa altura, uniforme de crecimiento activo, que cubren totalmente el suelo y disponen de la humedad requerida durante todo su período vegetativo.

Generalmente se utiliza como cultivo de referencia la alfalfa y gras. La  $ET_0$  puede ser medida, pero normalmente es calculada en base a los datos climáticos, El método recomendado por la FAO<sup>1</sup> es Penman-Monteith.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1-10)$$

Donde:

- $ET_0$  : Evapotranspiración potencial, mm/día
- $R_n$  : Radiación neta en la superficie del cultivo, MJ/m<sup>2</sup>/día
- $G$  : Densidad de flujo de calor del suelo, MJ/m<sup>2</sup>/día
- $T$  : Temperatura del aire a 2 m de altura, °C
- $u_2$  : Velocidad del viento a 2 m de altura, m/s
- $e_s$  : Presión de vapor de saturación, kPa
- $e_a$  : Presión de vapor actual, kPa
- $\Delta$  : Pendiente de la curva de presión de vapor, kPa/°C
- $\gamma$  : Constante psicométrico, kPa/ °C<sup>-1</sup>

La afectación del factor de cultivo a los valores de la evapotranspiración potencial, nos permite determinar la evapotranspiración real ( $ET_c$ ) o uso consuntivo, este factor es variable con la especie y la etapa de crecimiento.

### 1.2.3 Evapotranspiración real ( $ET_c$ )

Es la evapotranspiración que se produce en un cultivo especificado, sano, bien abonado y en condiciones optimas de humedad del suelo. Esta normalmente expresado como una razón del  $ET_c$  y  $ET_0$ , cuyas razones son llamadas coeficientes de cultivo ( $K_c$ ).

<sup>1</sup> FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nation; <http://www.fao.org/>

$$Et_c = K_c * Et_0 \quad (1-11)$$

La  $Et_c$  es el punto de partida para todos los cálculos de determinación de las demandas agrícolas.

El factor del cultivo  $K_c$ , depende del tipo de cultivo y de la etapa de crecimiento del cultivo, como lo muestra la Figura 1.3. Los valores típicos de  $K_c$ , para las tres fases de crecimiento, así como de la altura de crecimiento, están publicadas en el documento de la FAO: Irrigation and Drainage paper N° 56, que se muestran en la Tabla 1.6.

La Tabla 1.6 se muestran los valores medios de  $K_c$  para diferentes cultivos y etapas de crecimiento. De hecho, el  $K_c$  es también dependiente del clima y, en particular, de la humedad relativa y de la velocidad del viento. Los valores indicados deben ser reducidos en 0,05 si la humedad relativa es alta (>80%) y la velocidad del viento es baja (< 2 m/s).

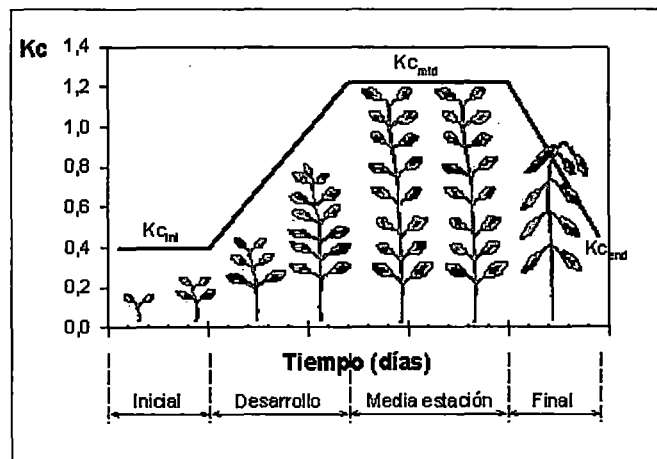


Figura 1.3 - Representación de las etapas de crecimiento de un cultivo



Tabla 1.6 - Kc promedio para diferentes cultivos y en diferentes etapas de crecimiento, usados en la cultura Moche y Chimú

Cultivo	Etapas inicial	Crecimiento	Media Estación	Estación Tardía
Algodón/ Lino	0,45	0,75	1,15	0,75
Calabaza/ Pepino	0,45	0,70	0,90	0,75
Berenjena/ Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Maíz, grano	0,40	0,80	1,15	0,70
Maní	0,45	0,75	1,05	0,70
Poroto	0,45	0,80	1,15	1,05
Papa	0,45	0,75	1,15	0,85
Beterraga	0,45	0,80	1,15	0,80

Elaboración Propia

### 1.2.4 Demanda de agua para uso agrícola

#### a) Cédula de cultivo

Es la planificación de los cultivos a implantarse en un área determinada en función a las condiciones climáticas, periodo de desarrollo de los cultivos y la disponibilidad de agua.

#### b) Módulo de riego

Es la cantidad de agua consumida y que debe aplicarse a un cultivo durante su periodo vegetativo ( $m^3/h$ ).

#### c) Demanda de agua de uso agrícola

Es la cantidad de agua requerida por la cédula de cultivo:

$$D_p = \frac{D_a}{E_r} \quad (1-12)$$

Donde:

$D_p$  : Demanda de agua bruta para uso agrícola

$D_a$  : Demanda de agua neta para uso agrícola

$E_r$  : Eficiencia de riego

#### d) Eficiencia de riego

El concepto de eficiencia de riego esta dado por la cantidad de agua que una vez que ha sido entregada, es aprovechada; descontándose las pérdidas que ocurren por diversos factores. En general la eficiencia esta definida por el Comité Internacional de Riego y Drenaje (ICID, 1950) o en todos sus tramos o partes de

un sistema de riego desde la fuente de abastecimiento hasta que llega a la planta en parcelas de los beneficiarios.

La eficiencia total está considerada como el producto de la eficiencia de conducción, de distribución y de aplicación; de acuerdo a las determinaciones de campo de cada uno de los componentes descritos anteriormente, se ha calculado la eficiencia de riego con la siguiente expresión:

$$E_r = E_c * E_d * E_a \quad (1-13)$$

Donde:

$E_r$  = Eficiencia de riego

$E_c$  = Eficiencia de conducción

$E_d$  = Eficiencia de distribución

$E_a$  = Eficiencia de aplicación

### 1.2.5 Relaciones entre suelo, agua y planta

Para comprender los procesos asociados a la Evapotranspiración debemos conocer algunos conceptos sencillos referentes al almacenamiento del agua en el suelo.

#### a) Zonas de humedad en un suelo

Lo que se encuentra por encima de la superficie freática se denomina zona de aireación o zona vadosa. La humedad en ella puede estar distribuida de un modo irregular, pero esquemáticamente se pueden distinguir tres sub zonas y se muestran en la Figura 1.4.

##### - Subzona de evapotranspiración

Es la afectada por este fenómeno. Puede tener desde unos pocos cm, si no existe vegetación, hasta varios metros.

##### - Subzona capilar

Sobre la superficie freática. El agua ha ascendido por capilaridad, su espesor es muy variable, dependiendo de la granulometría de los materiales.

- Subzona intermedia

Esta subzona se encuentra entre las dos anteriores. A veces inexistente, a veces de muchos metros de espesor. En toda zona vadosa puede haber agua gravídica que aun no ha descendido o contener agua por capilaridad. En la subzona capilar, la humedad forma una banda continua, mientras que en el resto estará irregularmente repartida.

**b) Contenido de humedad del suelo**

- Contenido de Humedad

Peso de agua en una muestra respecto al peso de la muestra seca, expresado en porcentaje (%).

- Capacidad de campo (CC)

Se define como el contenido de agua que retiene un suelo en contra de la fuerza gravídica, en condiciones de equilibrio y cuando no existe extracción de agua del suelo por las plantas, sea esta por evaporación o transpiración. Este es un concepto importante porque en esta situación no hay pérdida de agua hacia el acuífero, se expresa en %.

- Punto de marchitez (PM)

Es la cantidad de agua retenida en un suelo, que es insuficiente para abastecer adecuadamente a la planta y esta se marchita irreversiblemente. Puede ser un rango o un límite, pero una vez alcanzado es un proceso irreversible, se expresa en porcentaje.

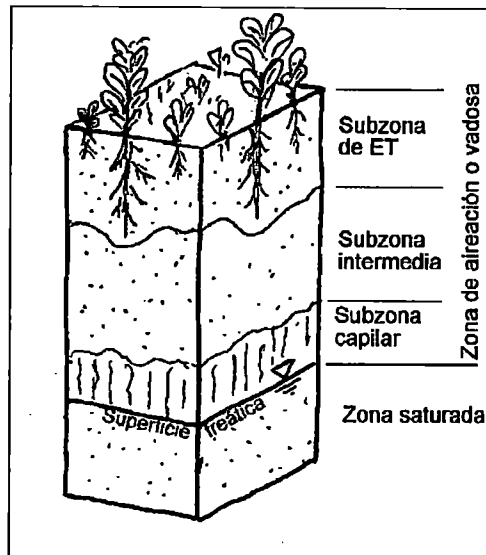


Figura 1.4 - Representación de las subzonas de humedad en el suelo

- Agua utilizable (Humedad Disponible)

El volumen de agua que esta en el perfil del suelo disponible para la planta, es la diferencia entre la CC y PM. Esto puede ser expresado como un porcentaje del volumen total del suelo.

Tabla 1.7 - Características de diferentes tipos de suelo

Tipo de suelo	Capacidad de Campo CC (%)	Punto de Marchitez PM (%)	Humedad Disponible (%)
Arena	7 - 17	2 - 7	5 - 11
Arena margosa	11 - 19	3 - 10	6 - 12
Marga arenosa	18 - 28	6 - 16	11 - 15
Marga	20 - 30	7 - 17	13 - 18
Marga limosa	22 - 36	9 - 21	13 - 19
Limo	28 - 36	12 - 22	16 - 20
Arcilla limosa	30 - 42	17 - 29	13 - 19
Arcilla	32 - 40	20 - 24	12 - 20

Fuente: FAO (1998)

## CAPÍTULO II INFORMACIÓN BÁSICA

### 2.1 UBICACIÓN

El territorio en el que se constituyeron los Moches y Chimúes se encuentra ubicado en la región de la Costa Norte del Perú, al oeste de la Cadena Occidental de la cordillera de Los Andes.

Tal como se muestra en la Figura 2.1 muchos investigadores han definido el área de influencia de estas culturas. Según McClelland (1990) (en Uceda, 1993), la cultura Moche se desarrolló desde el valle de Piura hasta el valle de Huarmey entre los paralelos 5°30' y 10°12' de Latitud Sur y 81°09' y 77°50' de Longitud Oeste, en esta área se encuentran los valles de Piura, Cascajal, Olmos, Motupe-La Leche, Chancay, Zaña, Jequetepeque, Chicama, Moche, Virú, Chao, Santa, Lacramarca, Nepeña, Casma Culebras y Huarmey.

En el Perú actual los valles mencionados comprenden los siguientes departamentos, Piura, Lambayeque, La Libertad y Ancash, tal como se muestra en el Plano N°01. Teniendo al departamento de La Libertad como el departamento más significativo respecto a la mayor concentración de las estructuras hidráulicas de las culturas Moche y Chimú.

### 2.2 HISTORIA Y FUNCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Las obras de ingeniería hidráulica son atribuidas a dos grandes culturas una sucesora de la otra, la cultura Mochica o Moche antecedió a la cultura Chimú, las cuales establecieron una civilización principalmente agrícola, de la que dependía el dominio de las tierras y el sustento de la población.

#### 2.2.1 Cultura Moche

Esta cultura surge y se desarrolla en la etapa conocida como el Intermedio Temprano, aproximadamente entre los 300 y los 700 D.C.

Su ubicación se extendió, desde el río Lambayeque hasta el valle de Nepeña, sin embargo, existen estudios en donde afirman la existencia de tumbas aisladas que asumen un nuevo límite hasta Huarmey. Su máximo florecimiento ocurrió en los valles de Pacasmayo, Chicama, Virú, Santa y Moche, por este último valle se le da el nombre a esta cultura. La sociedad Mochica ocupó las partes bajas y medias de los valles de la costa norte peruana con sembríos e infraestructura.

Los poblados se asentaron en las planicies, casi siempre asociados a las bocatomas de los canales, o controlando las derivaciones de éstos.

La manifestación cultural más notable es la cerámica, en ellos representaron a divinidades, hombres, animales y escenas significativas referidas a temas ceremoniales y mitos que reflejan su concepción del mundo, destacándose la sombría expresividad, perfección y realismo con que los dotaban. Son considerados como los mejores ceramistas del Perú antiguo. Además, es por este aspecto que el investigador Larco Hoyle clasificó esta cultura en cinco fases de desarrollo, tal como se muestra:

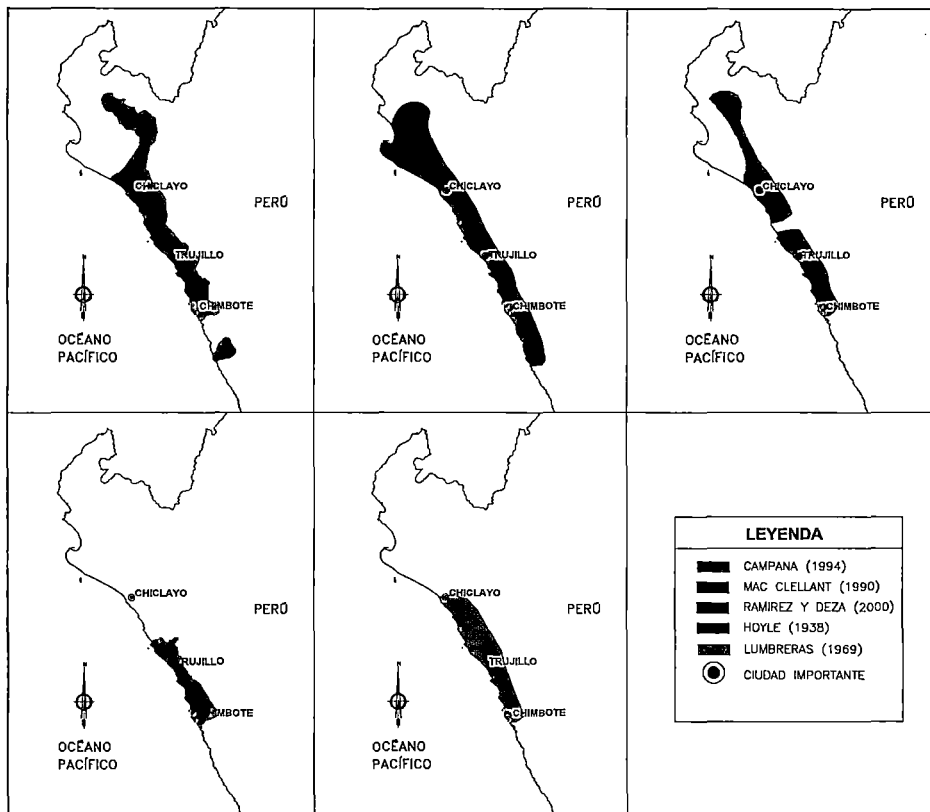


Figura 2.1 - Áreas de Influencia de la Cultura Moche según diferentes autores

- Mochica I: Pequeñas vasijas-retratos, vasos fito-zoo-antropomorfos, botellas con asa-estribo, pico, etc., casi siempre recubiertas con pintura.
- Mochica II: Vasijas mejor cocidas, más esbeltas y con pinturas zoomorfas con excelente factura.
- Mochica III: Vasos-retratos y también de animales, únicos por su excepcional realismo-naturalismo, decorados de arriba abajo con motivos geométricos o escenas de la vida diaria.

- Mochica IV: con algunas formas nuevas, incorporando el tema paisajístico.
- Mochica V: Barroco, atrevido y decadente por su forma y decoración.

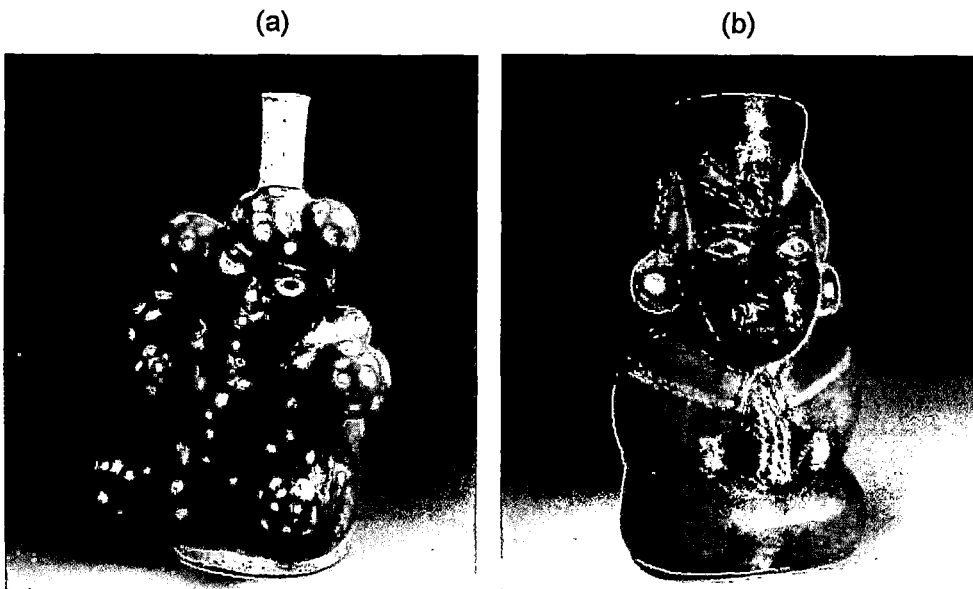


Figura 2.2 - (a) Idealización de la papa (b) El creador de los mochicas desgrana las mazorcas del maíz, valiéndose de los métodos de aquella época

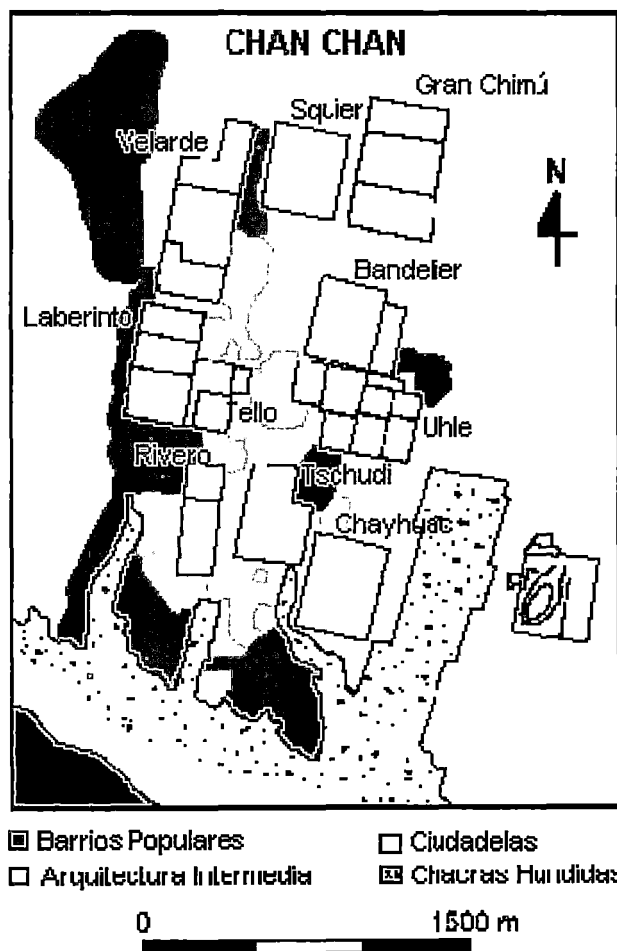
La economía de los Moche estuvo basada en la agricultura como actividad principal y con la experiencia heredada de otras culturas más antiguas tales como: los Cupisniques, Salinares, Gallinazos y Vícus. Se desarrollaron técnicas de cultivo y se construyeron complejos sistemas de irrigación que consistía en una extensa red de canales, acueductos y embalses que construyeron para extender su frontera agrícola; se caracterizaron también por hacer un uso intensivo del cobre en la fabricación de armas, herramientas y objetos ornamentales.

### 2.2.2 Cultura Chimú

La cultura Chimú, famosa por sus ciudades y técnica metalúrgica, floreció entre los años 1100 y 1400, mucho después de la desaparición de la cultura Moche. Ésta cultura estuvo basada en la integración de las formas de las culturas Wari-Moche.

Geográficamente se extendieron por el Norte hasta Olmos y por el Sur hasta Pativilca; ocupando una larga faja de la costa; y por la sierra es posible encontrar influencia de los Chimúes hasta el valle de Utcubamba, por el oriente.

La magnífica capital de los Chimúes y de sus soberanos fue **Chan Chan**; considerada como la ciudadela de barro precolombina más grande del mundo. Esta ciudadela, fundada por el legendario Tacaynamo, se levantó entre Trujillo y Huanchaco y fué construida íntegramente de barro, destacando el adobe y el adobón; es una de las más grandes ciudades que tuvo el Perú prehispánico. Según Kent Day (1974), se calcula que llegó a albergar entre 20 000 a 30 000 personas; y que el complejo se extendía en un área de 18 a 20 km<sup>2</sup> la cual estaba dividida en 10 barrios populares, rodeados de murallas de hasta 13 m de altura. El lugar presenta una refinada técnica arquitectónica, donde destacan impresionantes altorrelieves y exquisitos diseños geométricos y zoomorfos, frisos con líneas y figuras de peces y aves pintados originalmente en tonos ocre, amarillos y rojos. La ciudadela de Chan Chan contaba con reservorios de agua, campos de cultivo, silos para guardar los alimentos y sistemas de defensa.



Fuente: <http://peruahora.wordpress.com/2009/01/19/chan-chan-maravillamenazada/>  
 Figura 2.3 - Croquis de Chan Chan con la ubicación de sus principales sectores: ciudadelas, barrios populares, arquitectura y chacras hundidas (mahamaes)



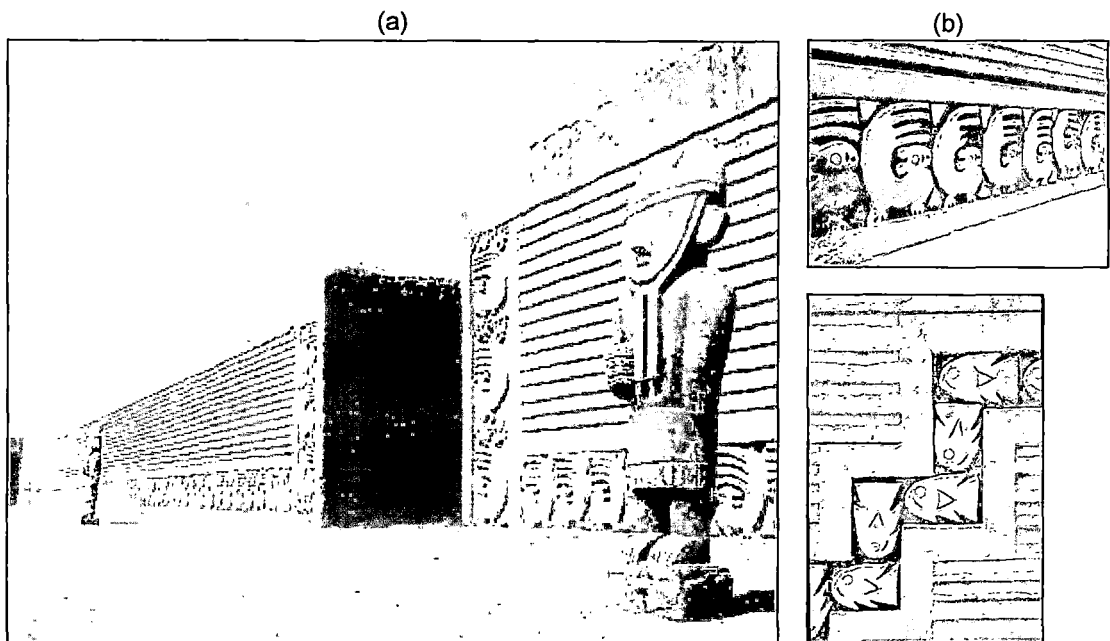


Figura 2.4 - (a) Ingreso principal de una de las ciudadelas en Chan Chan.  
(b) Detalle de los frisos en la muralla

La economía de los Chimúes tuvo una base agrícola, pero debió complementarse con la caza, la pesca, la industria y el comercio. La producción en serie que desarrollaron induce que debieron tener un creciente interés por la industria.

Los laboriosos Chimúes tuvieron un final sangriento, alrededor de 1400, terminaron derrotados por los Incas quienes al mando Túpac Yupanqui, sitiaron la ciudad de Chan Chan, les cortaron los suministros de agua y los hicieron sus vasallos.

### 2.2.3 Periodo de construcción de la infraestructura hidráulica

En la Tabla 2.1 se presenta el cuadro cronológico de las eras o estados culturales de la Costa Norte del Perú. Tal como lo menciona Víctor Rodríguez Suy Suy en *"Irrigación Prehistórica en el valle de Moche" (1963)*, hasta ahora no se ha podido determinar la secuencia de la construcción y uso de los canales. Sin embargo, basándose en las evidencias de los establecimientos, los investigadores determinaron que la construcción del canal mas antiguo debió iniciarse en el horizonte Intermedio Temprano, correspondió a los Mochicas su mayor desarrollo. En la época Chimú se extendieron y se desarrollaron mejores técnicas constructivas y fue en éste periodo donde se alcanzó el mayor desarrollo agrícola de los valles.

### 2.2.4 Agricultura

Para Larco (1940), los milenarios pobladores de la Costa peruana alcanzaron un notable desarrollo en la agricultura hasta convertirla en la mayor fuerza económica con la que contaron.

Los conocimientos agrícolas que poseyeron los mochicas eran fruto de observaciones debidamente comprobadas y sistematizadas.

Tabla 2.1 - Cuadro Cronológico de las Eras o Estados Culturales de la Costa Norte, según Kauffman (1980)

Estados Culturales		Horizontes	Periodos	Edad	Costa Norte		
<b>ESTADO AGRICOLA DESARROLLADO</b>	Ciudades Imperiales	Horizonte Tardío A	Inca Imperial	1438	INCA		
	Centros de Poder	Intermedio Tardío B	Gobiernos locale y regionales	1200	LAMBAYEQUE	CHIMU	
	Ciudades Imperiales	Horizonte Medio C	Tiahuanaco-Huari	700		TIAHUANACO-HUARI	
	Centros de Poder	Intermedio Temprano D	Gobiernos Regionales y Locales (I) Culturas Clasicas	300		MOCHE	
	Centros Cultistas de Poder	Horizonte Temprano E	Centros Cultistas	Tardío	D.C A.C	VIRU	VICUS
				Complejo Formativo / Complejo Chavin	300 1000		CABALLO MUERTO

Fuente: Manual de Arqueología Peruana (Kuffman 1980)

Debido a la aridez de la Costa peruana se vieron forzados a obtener el mayor provecho de los valles, para lo cual tuvieron que ampliar continuamente sus áreas de cultivo, es así como nacen sus grandes obras de irrigación, y luego surge en ellos la necesidad de investigar la eficacia de los fertilizantes (explotación del guano de las islas) y de lograr una mejor aplicación de los riegos y selección de las semillas.

Desarrollaron diferentes sistemas de entrega de agua, para aprovechar de manera más eficiente el riego, tales como: surcos rectos, pozas o melgas, surcos en forma de caracol, andenes o terrazas agrícolas etc.

Las formas de sembrío que emplearon los mochicas son muy similares a los que se utilizan actualmente, aunque con ligeras variaciones, el uso de las puntas de madera, con un extremo afilado y curvo en el otro, y las puntas de cobre, aún existen como herencia ancestral.

Se ha llegado a identificar las plantas conocidas y cultivadas por los mochica, tales como: maíz, ulluco, chirimoya, guanábana, palta, frijol, pallar, maní, paca, oca, coca, yuca, algodón, cacao, granadilla, tumbo, papaya, guayaba, lúcuma, zapote, camote, ají, tomate, papa, etc, de todos estos el maíz fue uno de los productos de mayor importancia y de más amplio cultivo, pues formó parte de su alimentación y se empleó mayormente en la elaboración de la chicha considerada actualmente una bebida nacional.

## **2.3 GEOGRAFÍA FÍSICA**

### **2.3.1 Topografía y relieve**

La zona de la costa norte del Perú, donde se desarrollaron las culturas Moche y Chimú, se caracteriza por ser plana y con algunas variaciones en el relieve. Existen valles, pampas, depresiones, tablazos y laderas. El ancho de la franja costera varía entre 20 y 40 km, aunque los valles de Chancay, Reque y Lambayeque, tienen más de 50 km, ocasionalmente y en determinados sectores, se presentan cerros y elevaciones que suben escarpadamente desde el mar y en algunos casos alcanzan una altura máxima de 1000 m.

Los valles presentan diversos relieves, en las partes altas y angostas las laderas son empinadas y con poco material edáfico. En la zona media se forman pequeños valles laterales formados por quebradas de humedad temporal, que afluyen al valle mayor. En las partes bajas y cercanas al mar, la napa freática es casi superficial, dando origen a puquios o a pequeñas lagunas. A los costados de los valles aparecen grandes pampas o planicies desérticas, cubiertas de arena, grava, limo y arcilla.

Las depresiones de la zona costera son terrenos de hundimiento o de muy poca elevación sobre el nivel del mar, en el territorio Mochica existen varias depresiones que debieron ser "salineras".

### 2.3.2 Clima

El clima de la Costa Norte se encuentra fuertemente influenciado por la temperatura del mar, presenta un clima predominante seco, hiperárido, pero eventualmente se convierte en extremadamente lluvioso y tropical.

A la segunda condición descrita se le conoce como un fenómeno natural que se presenta en ciclos no regulares que altera las condiciones normales climáticas de toda la costa; incrementando la temperatura y la lluvia de manera significativa; este fenómeno es conocido como el "Fenómeno de El Niño".

El "Fenómeno de El Niño" u "Oscilación del Sur", permanece por lo menos 4 meses consecutivos. Este fenómeno consiste en el aumento generalizado de la temperatura de la superficie del mar, producido por una corriente de aguas cálidas dirigida hacia el Sur. Abarca grandes extensiones del planeta, por lo cual se dice que es un fenómeno de macroescala.

Abarca gran parte del Océano Pacífico, especialmente la Región Tropical y Subtropical; pero compromete también al Índico y al Atlántico.

Involucra en sus efectos amplias áreas continentales de Asia, Oceanía, Europa y América. Principalmente América, especialmente el Pacífico Oriental y particularmente a Perú y Ecuador.

Entre las principales características de la presencia de este fenómeno se tienen; además de las fuertes lluvias, incremento de la temperatura superficial del mar y del aire en zonas costeras, disminución de la presión atmosférica en estas zonas, vientos débiles, disminución del afloramiento marino.

Según Rocha (2003), los principales aspectos involucrados en los daños asociados a los Meganiños se describen en la Tabla 2.2. Durante los últimos cuarenta años, nueve "Niños" de diferentes intensidades han afectado la costa América del Sur y durante los últimos cinco siglos este fenómeno se ha presentado diez veces con una magnitud importante e ingentes daños materiales, económicos y pérdida de vidas humanas. En la Tabla 2.3 se muestra la relación de Meganiños (1532-2002), con un intervalo medio de 47 años, cuatro de ellos han ocurrido en los últimos 110 años, con un intervalo medio de sólo 36 años.

Con los antecedentes mencionados, es de suponer que este Fenómeno de El Niño estuvo también presente en la época de desarrollo de las culturas Moche y Chimú, considerando el promedio de ocurrencia de 47 años para los Meganiños y los periodos de existencia de las culturas de interés se obtuvo 10 eventos de esta naturaleza en cada periodo, lo cual debió significar cuantiosas pérdidas materiales y de vidas humanas.

Tabla 2.2 - Aspectos Involucrados en los severos daños asociados a los Grandes Fenómenos de El Niño en la actualidad

Aspectos	Descripción
El hombre y su habitat	Vidas humanas y salud de la población. Ciudades, viviendas y edificios. Instalaciones y servicios públicos urbanos.
Naturaleza	Curso de los ríos. Geodinámica, paisaje. Vida animal. Flora y fauna silvestres y especies en extinción.
Infraestructura Mayor	Carreteras, puentes y ferrocarriles. Obras hidráulicas. Puertos y aeropuertos.
Agricultura y ganadería	Infraestructura menor de riego y drenaje. Tierras agrícolas y de cultivos. Producción pecuaria. Viviendas y caminos rurales.
Pesquería y fauna marina	Fauna marina en general. Actividad pesquera y afines.
Instalaciones, Industrias y Servicios Varios	Instalaciones diversas (Hidroelectricidad, agua potable, etc.) Ruinas arqueológicas Estaciones de observación (hidrológicas, meteorológicas y de otro tipo)
Acyividades económicas y comerciales	Turismo Calidad de vida, migraciones internas. Producto Bruto Interno

Fuente: Caracterización Hidrometeorológica de Los Meganiños en la Costa Norte Peruana (2003)

#### a) Vientos

La dirección predominante de los vientos en la zona de Chimbote es de NE a SO con una velocidad máxima registrada de 23 km/hora; en la zona de Trujillo es de S-SO, con una velocidad máxima de 42 km/hora.

#### b) Humedad relativa

Existe humedad casi todo el año y las lloviznas se presentan eventualmente en febrero y marzo. De los datos estadísticos sobre humedad relativa obtenidos para la localidades de Casagrande, Cartavio, Guadalupe y Cayaltí, que son 72%,

82%, 74% y 80% respectivamente, se obtiene una humedad promedio en la zona de 77%, siendo los valores en los meses de verano mucho menores que en invierno.

Tabla 2.3 - Relación de MEGANIÑOS (1532-2002)

Año	Intervalo de años	Daños
MN 1578	142	Fuertes lluvias en Lambayeque durante 40 días. Desborde de ríos. Copiosas lluvias en Ferreñafe, Túcume, Illimo, Pacora, Jayanca, Cinto, Chiclayo, Chicama, Chocope, Trujillo y Zaña. Destrucción de canales. Epidemias. Gran daño a la agricultura. Plaga de langostas.
MN 1720	8	Destrucción de Zaña. Copiosas lluvias en Trujillo, Piura y Paita. Desborde de ríos. Enormes daños económicos a la agricultura, especialmente en Lambayeque.
MN 1728	63	Lluvias en Piura (hubieron relámpagos y truenos), Paita, Zaña (12 días), Chócope, Trujillo (40 días corrieron ríos de agua por las calles). Desborde de ríos. Reubicación de Sechura. Ruina económica de la agricultura, especialmente en Lambayeque.
MN 1791	37	Fuertes lluvias en Piura, Paita y en otros lugares de la costa norte. Daños a la agricultura de Lambayeque.
MN 1828	50	Importantes lluvias entre Trujillo y Piura (14 días). Tempestades. Desbordamientos de ríos. Formación de un río en Sechura.
MN 1878	13	Fuertes lluvias de la costa norte. Grandes daños en el departamento de Lambayeque.
MN 1891	34	2 000 muertos, 50 000 damnificados. Torrenciales lluvias en toda la costa norte. En Piura, Trujillo y Chiclayo llovió 2 meses. Chimbote, Casma y Supe quedaron en ruinas. Desbordamientos del río Rímac.
1925	58	Fuertísimas lluvias en todo el norte. Desborde de ríos. Aumento de la temperatura del mar y del ambiente. Lluvias hasta Pisco. Grandes daños económicos.
M 1983	15	Fuertes y largas precipitaciones en toda la costa norte, llovió durante 6 meses en Piura y Tumbes (2 500 mm en Piura) Interrupción de carreteras. Fuertes pérdidas en la pesquería.
MN 1998	?	Grandes lluvias en todo el norte. Fuertes descargas de los ríos. Cuantiosas pérdidas. Fallaron 58 puentes. Plaga de langostas. Grandes pérdidas económicas.

Intervalo Promedio de años	46,7
----------------------------	------

MN: Meganiño

Fuente: Caracterización Hidrometeorológica de Los Meganiños en la Costa Norte Peruana (2003)

### c) Temperatura

El régimen de temperatura en el área de estudio tiende a ser bastante regular y estable, obedece a un gradiente inverso es decir que a mayor altitud menor temperatura, este fenómeno se mantiene hasta cerca de los 800 msnm.

Las temperaturas registradas en varias estaciones ubicadas a lo largo de la costa norte peruana hasta la ciudad de Lima se presentan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 - Temperaturas registradas en la costa norte

Localidad	Temperatura ( C )		Periodo Registrado (años)
	Máxima	Mínima	
Cabo Blanco	35,5	10,5	20
Hacienda Cayaltí	35,5	5,4	6
Guadalupe	37,5	8,5	15
Hacienda Cartavio	35,2	9,8	2
Hacienda Casagrande	34,5	7,0	15
Trujillo	31,5	12,0	5
Chimbote	29,0	12,5	5
Lima	32,0	10,6	20

Elaboración Propia

Se observa que estas temperaturas no difieren mucho entre sí. La temperatura promedio anual, oscila entre 18° y 22°C.

#### d) Precipitación pluvial

La precipitación en la costa es casi nula, salvo en los meses de invierno donde se producen pequeñas lloviznas e importantes precipitaciones en los años que se presenta el Fenómeno de El Niño. En los meses de verano se producen fuertes precipitaciones en la cuenca alta de los ríos.

La máxima precipitación anual registrada los años 1943 y 1953 en la zona de **Cabo Blanco** (Ver Plano N°01) fueron de 253 mm y 145 mm. Las precipitaciones totales anuales mínimas se registraron en los años de 1952 y 1954, con valores de 2,8 mm y 7,0 mm respectivamente. El valor promedio de precipitación anual en 20 años de registro fue de 63 mm.

Más al sur, en la estación de la **Hacienda Cayaltí**, los registros efectuados son aun mucho menores. Los valores máximos son del orden de los 45 mm y 28 mm para los años 1957 y 1955 respectivamente, el valor mínimo es del orden de 6,0 mm para el año 1954, el valor promedio de la precipitación acumulada es de 22,5 mm por año para un periodo de registro de 6 años.

En la estación **Casa Grande** la máxima precipitación acumulada anual fue de 200,6 mm para el año 1998 (Fenómeno de El Niño) y la mínima fue de 5,5 mm para el año de 1968. Al sur de Trujillo la precipitación es nula, existiendo sólo en los meses de verano algunas trazas de lluvias.

### **2.3.3 Geología regional**

En el área de estudio presentada en el Plano N°02, se observan unidades geológicas cuya edad varía desde el periodo Triásico hasta el Cuaternario. Pero si sólo se consideran las principales formaciones, se muestra que las capas sedimentarias y metamórficas del Cuaternario (Q) y del Jurásico Superior (Js) y las rocas intrusivas del Cretáceo Superior-Terciario Inferior (Kti) conforman la mayor parte de la zona delimitada. Esto indica la importancia de los sedimentos y de la gran influencia que ha tenido en la zona la actividad ígnea.

En cuanto a la formación de los estratos en la región; existen afloramientos de rocas, desde la edad Paleozoica, en Punta Lobo (Puerto Chicama), hasta las modernas terrazas y formaciones tanto de origen marino como fluvial, lacustre y continental. Los depósitos fluviales tienen suma importancia, presentándose estos en las zonas bajas de los valles; finalmente los depósitos eólicos de las planicies costeras, son trascendentes debido a su magnitud y a su carácter parcialmente móvil.

### **2.3.4 Suelos, uso y potencial**

La Costa Norte peruana donde se desarrollaron las culturas Moche y Chimú presenta una gran variedad de tipos de suelo, la mayoría de éstos son muy alcalinos por efecto del clima árido. El 90% de los terrenos de la costa son desiertos, en donde predominan los suelos arenosos pobres en materia orgánica; los suelos aluviales secos en los cauces secos; los suelos rocosos en los cerros y colinas. El resto corresponde a suelos aptos para cultivo, principalmente en los valles en donde predominan los suelos aluviales.

### **2.3.5 Hidrografía**

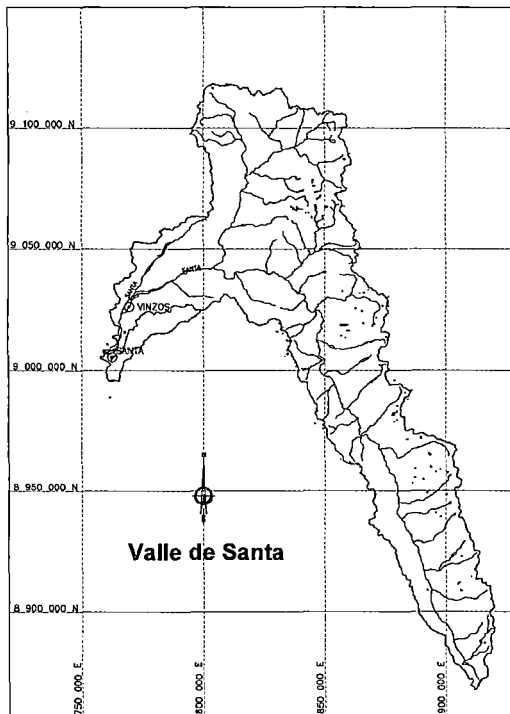
La dirección de los ríos de la costa en el área de influencia de las culturas Moche y Chimú, que entregan sus aguas al Pacífico, es de NE-SO; con excepción del río Santa que desde su nacimiento, hasta su confluencia con el río Manta corre paralelamente a la costa en dirección SE-NO. En general estas cuencas presentan un relieve bastante accidentado, una cuenca hidrográfica alargada de fondo profundo y quebradas de fuertes pendientes; los ríos se caracterizan por ser torrentosos en la cuenca superior, de régimen irregular y estacional, con crecidas intensas en el verano (diciembre a abril) y una reducción importante de su caudal en los meses de invierno (mayo a noviembre).



Se presenta las principales características de algunos ríos ubicados en el área de influencia de las culturas Moche y Chimú.

- Río Santa

Es uno de los ríos más caudalosos de la vertiente del Pacífico y en magnitud de cuenca sólo es superado por el río Chira. El escurrimiento superficial de este río se origina de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta y, además, de los deshielos de los nevados de la Cordillera Blanca; el 83% del área de la cuenca (ubicada sobre los 200 m.s.n.m.) contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial. La descarga máxima promedio mensual en el periodo 1956-2007 fue 711,05 m<sup>3</sup>/s. Ver Tabla 2.5. La máxima descarga diaria observada en la Estación Pte. Carretera ha sido de 1 500 m<sup>3</sup>/s (20 Feb. 1932).



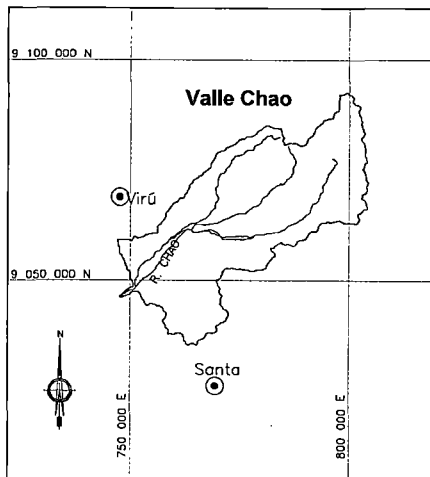
**Características de la cuenca:**

Área	km <sup>2</sup>	12 479
Perímetro	km	960,6
Pendiente Promedio	%	1,4

Figura 2.5 – Cuenca del Río Santa

- Río Chao

El río está prácticamente seco todo el año con excepción de unos pocos días en los meses de Enero a Abril en los que se presentan precipitaciones en la Sierra. Las descargas son de régimen irregular y de carácter torrencioso con descargas esporádicas y de corta duración.



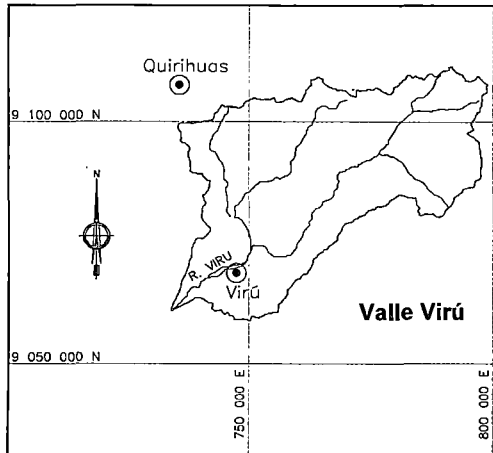
**Características de la cuenca:**

Área	km <sup>2</sup>	1 443
Perímetro	km	227,7
Pendiente Promedio	%	5,85

Figura 2.6 – Cuenca del Río Chao

- Río Virú

El río Virú nace de lagunas ubicadas entre las faldas de cerros de las partes más altas de la provincia de Santiago de Chuco. El 53% del área de la cuenca total contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial de la cuenca. La descarga máxima promedio mensual en el periodo 1931-1970 fue 111,66 m<sup>3</sup>/s. Ver Tabla 2.5. La máxima descarga diaria observada en la Huacapongo ha sido de 384 m<sup>3</sup>/seg.



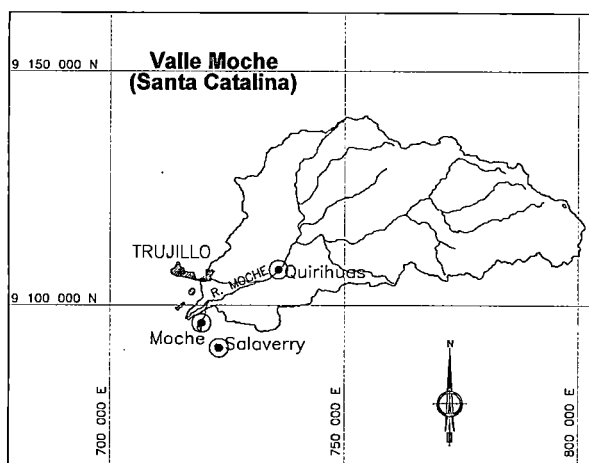
**Características de la cuenca:**

Área	km <sup>2</sup>	1 967
Perímetro	km	246,7
Pendiente Promedio	%	8,38

Figura 2.7 – Cuenca del Río Virú

- Río Moche

El río Moche nace en la Laguna Grande sobre los 3 988 m.s.n.m., con el nombre de Río Grande. El escurrimiento superficial de este río se debe principalmente a las precipitaciones estacionales, la cuenca alta no presenta nevados de importancia que contribuyan a mejorar el régimen de descargas. La descarga máxima promedio mensual en el periodo 1932-1959 fue 150,08 m<sup>3</sup>/s. Ver Tabla 2.5.



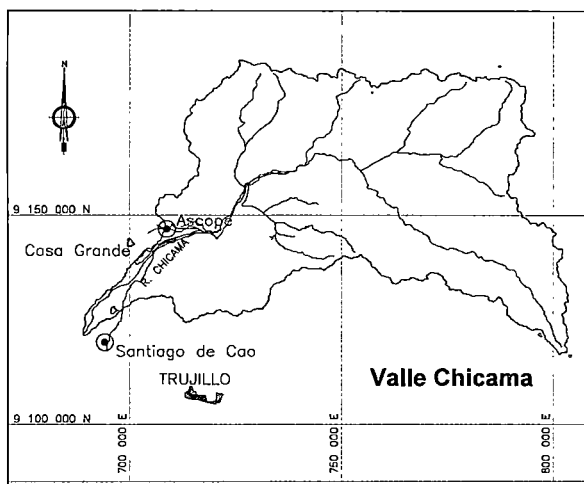
**Características de la cuenca:**

Área	km <sup>2</sup>	2 708
Perímetro	km	263,9
Pendiente Promedio	%	4,0

Figura 2.8 – Cuenca del Río Moche

- Río Chicama

El río Chicama nace a las alturas de las minas Callacuyán con el nombre de río Perejil. El 42% del área de la cuenca total contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial de la cuenca. La descarga máxima promedio mensual en el periodo 1920-2003 fue 548,11 m<sup>3</sup>/s. Ver Tabla 2.5. La máxima descarga diaria observada ha sido de 1441,2 m<sup>3</sup>/s.



**Características de la cuenca:**

Área	km <sup>2</sup>	4 454
Perímetro	km	427,1
Pendiente Promedio	%	7,62

Figura 2.9 – Cuenca del Río Chicama

Tabla 2.5 – Descargas en algunos ríos ubicados en el área de estudio

Río	Descarga Prom. máxima mensual m <sup>3</sup> /seg	Descarga Prom. mínima mensual m <sup>3</sup> /seg	Módulo Anual m <sup>3</sup> /seg	Est. Hidrométrica	Periodo	Fuente Infor.
Santa	711,05	33,78	147,42	Condorcero	1956-2007	(1)
Virú	111,66	0,00	3,97	Huacapango	1931-1970	(2)
Moche	150,08	0,23	10,11	Moche	1932-1959	(3)
Chicama	548,11	0,15	26,04	Salinar	1920-2003	(4)

Fuente: (1) (Hidromanta, 2010); (2) (CEPES); (3) (ONERN, 1963); (4) (Ministerio de Agricultura, 2005)

## 2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona donde se desarrollaron los cultivos Moche y Chimú tiene un importante potencial agrícola es por eso que actualmente se han desarrollado grandes ciudades con un desarrollo económico en permanente crecimiento, una de las principales actividades que se desarrolla es la agricultura. A continuación se describe la situación actual de la zona donde se establecieron estas culturas:

### 2.4.1 Población actual

Se describe la situación actual de las provincias de Chiclayo y Trujillo, pertenecientes a la región La Libertad, que se encuentran dentro del área en la que se localizaron la mayor concentración de canales.

Trujillo, además de ser la capital del departamento de La Libertad, es el principal eje económico del norte del Perú, debido a las industrias florecientes y a la agricultura de exportación. Entre 2005 y 2008, esta ciudad experimento un crecimiento poblacional del 0,48%, la cual, con sus 811 979 habitantes, que equivalen a 2,88% del Perú, es la tercera ciudad más poblada.

Chiclayo, capital de la provincia y del departamento de Lambayeque, es también el centro comercial y de comunicaciones de la región. Esta región está dedicada principalmente al cultivo del arroz y a la caña de azúcar. Con más de 757 452 habitantes, calculados en el 2008, es la cuarta ciudad mas grande del Perú en lo que a población se refiere. Su crecimiento entre 2005 y 2008 ha sido de 0,21%.

Tabla 2.6 - Población Total Censada según Provincias 1981, 1993, 2005 y 2008

Provincia	Censos				Tasa de Crecimiento anual %		
	1981	1993	2005	2008	81/93	93/05	05/08
Trujillo	444 833	639 554	765 171	811 979	2,54	1,37	0,48
Chiclayo	468 742	638 479	738 057	757 452	2,22	1,12	0,21

Fuente: INEI

### 2.4.2 Vías de comunicación actual

Los valles de la costa están conectados a Lima y a las principales poblaciones del norte del país mediante la carretera Panamericana que las cruza transversalmente. La citada carretera; íntegramente asfaltada; une las ciudades de Lima, Chimbote, Trujillo, Chiclayo, Piura. La carretera de penetración Otuzco comunica a la ciudad de Trujillo con las provincias del interior. Dentro de las

mismas poblaciones las vías son trochas carrozables, que comunican a todos los sectores de riego, las cuales se encuentran en condiciones regulares de conservación, que permiten el traslado de los productos de cosecha a los diferentes mercados de la ciudad.

### **2.4.3 Principales Proyectos de irrigación en la costa norte**

Los proyectos de irrigación surgen por la necesidad de desarrollar el área agrícola en zonas con escasez de agua, es decir zonas áridas o secas, y con tierras aptas para el cultivo. Desde la época de los primeros asentamientos humanos en la costa, se desarrollaron obras hidráulicas para aprovechar el agua de los ríos que provienen de los Andes. Es así, que esta necesidad de proyectos de irrigación se ha mantenido en el tiempo hasta la actualidad.

Los proyectos de irrigación, conocidos como Proyectos Especiales tienen como finalidad incrementar la disponibilidad de agua y consecuentemente el área agrícola de las zonas de influencia de cada Proyecto, propiciando el desarrollo agroindustrial y de menor medida la producción hidroenergética. Entre los principales Proyectos de desarrollo en la costa norte, se tienen: Puyango-Tumbes, Chira-Piura, Jequetepeque-Zaña, Olmos, Tinajones, Chavimochic, Chinecas.

#### **a) El Proyecto Especial CHAVIMOCHIC**

El proyecto Especial Chavimochic es uno de los más importantes proyectos de desarrollo de la Costa Norte peruana, iniciada en el año 1985. Fue creado por Ley 16667 el 27 de Julio de 1967.

Es un proyecto de propósitos múltiples: agrícola, destinada a la producción de alimentos para el consumo nacional y para la agroexportación; energético, produce energía eléctrica para los pueblos de los departamentos de La Libertad y del Santa, esta última en la región Ancash; y poblacional que permite el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Trujillo.

El proyecto consiste en la derivación de las aguas del río Santa; de régimen regular; mediante una bocatoma y su derivación a través de canales abiertos, túneles, conductos cubiertos y estructuras especiales, en una longitud de 270 km hasta las Pampas de Urricape al norte de Paiján, beneficiando a los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama cuyos ríos presentan régimen irregular, como se observa en la Figura 2.10.

Este proyecto fue concebido en tres etapas: la I etapa concluida (Bocatoma-Chao-Virú) de 86 km de longitud y la II etapa concluida (Virú-Moche) de 66 km de longitud, la Tercera etapa, alcanza el valle de Chicama, el más extenso en la región La libertad.

Contempla además las centrales Hidroeléctricas de Virú, de Cola y Pie de Presa y la Planta de tratamiento de agua potable, así como la adecuación de la infraestructura menor de riego y drenaje en las áreas de mejoramiento, la aplicación de riego tecnificado en las áreas nuevas y desarrollo agrícola y agroindustrial de los valles beneficiados.

Tiene por objetivo, ganar para la agricultura todas las tierras que se encuentran en la zona y que son potencialmente adecuadas para el cultivo, aumentar los rendimientos de las áreas que actualmente se encuentran cultivadas y generar energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la zona.

Con este proyecto, la costa Norte peruana se convirtió en el más importante polo de desarrollo agroexportador del Perú, en sus valles se asientan las mayores agroindustrias nacionales que tienen sembradas alrededor de 15000 Ha.

#### Metas Globales,

- Mejoramiento de la producción de 78310 Ha con el agua complementaria e incorporación a la agricultura de 66075 Ha de tierras eriazas con el suministro de agua del río Santa.
- Generación de 68,10 MW de Energía Eléctrica en las Centrales eléctricas de Cola (80 MW), Mini Centraleléctrica de Tanguche y Desarenador (0,64 MW).
- Abastecimiento de agua potable a la ciudad de Trujillo (1 m<sup>3</sup>/s) como complemento a la explotación del agua subterránea beneficiando a 700 000 habitantes.

Los beneficios actuales y proyectados del Proyecto, por etapas, están representados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 - Beneficios actuales y proyectados del Proyecto CHAVIMOCHIC

Etapas	Mejoramiento de riego ha	Incorporación de áreas ha	Generación Eléctrica MW	Producción de agua potable m <sup>3</sup> /s	Familias Beneficiadas
<b>ETAPA I</b>	<b>17 948</b>	<b>33 957</b>	<b>8,1</b>		<b>40 000</b>
V. Santa	500	6 725			1 000
V. Chao	5 331	9 765	0,6		5 000
V. Virú	12 117	17 467	7,5		34 000
<b>ETAPA II</b>	<b>10 315</b>	<b>12 708</b>		<b>1,0</b>	<b>126 000</b>
V. Virú - V. Moche	10 315	12 708		1,0	126 000
<b>ETAPA III</b>	<b>50 047</b>	<b>19 410</b>	<b>60,0</b>		<b>65 000</b>
V. Moche - V. Chicama	50 047	19 410	60,0		65 000
<b>TOTAL</b>	<b>78 310</b>	<b>66 075</b>	<b>68,1</b>	<b>1,0</b>	<b>231 000</b>

Fuente: www.chavimochic.gob.pe

### b) El Proyecto Especial CHINECAS

El proyecto Especial CHINECAS es el principal proyecto de la zona costa del departamento de Ancash. Este proyecto aun se encuentra en ejecución, fue desarrollado con la finalidad de aprovechar la utilización integrada de los recursos hídricos de los ríos Santa, Nepeña, Casma-Sechín, con la finalidad de complementar el riego en los valles de Chimbote, Nepeña, Casma y Sechin.

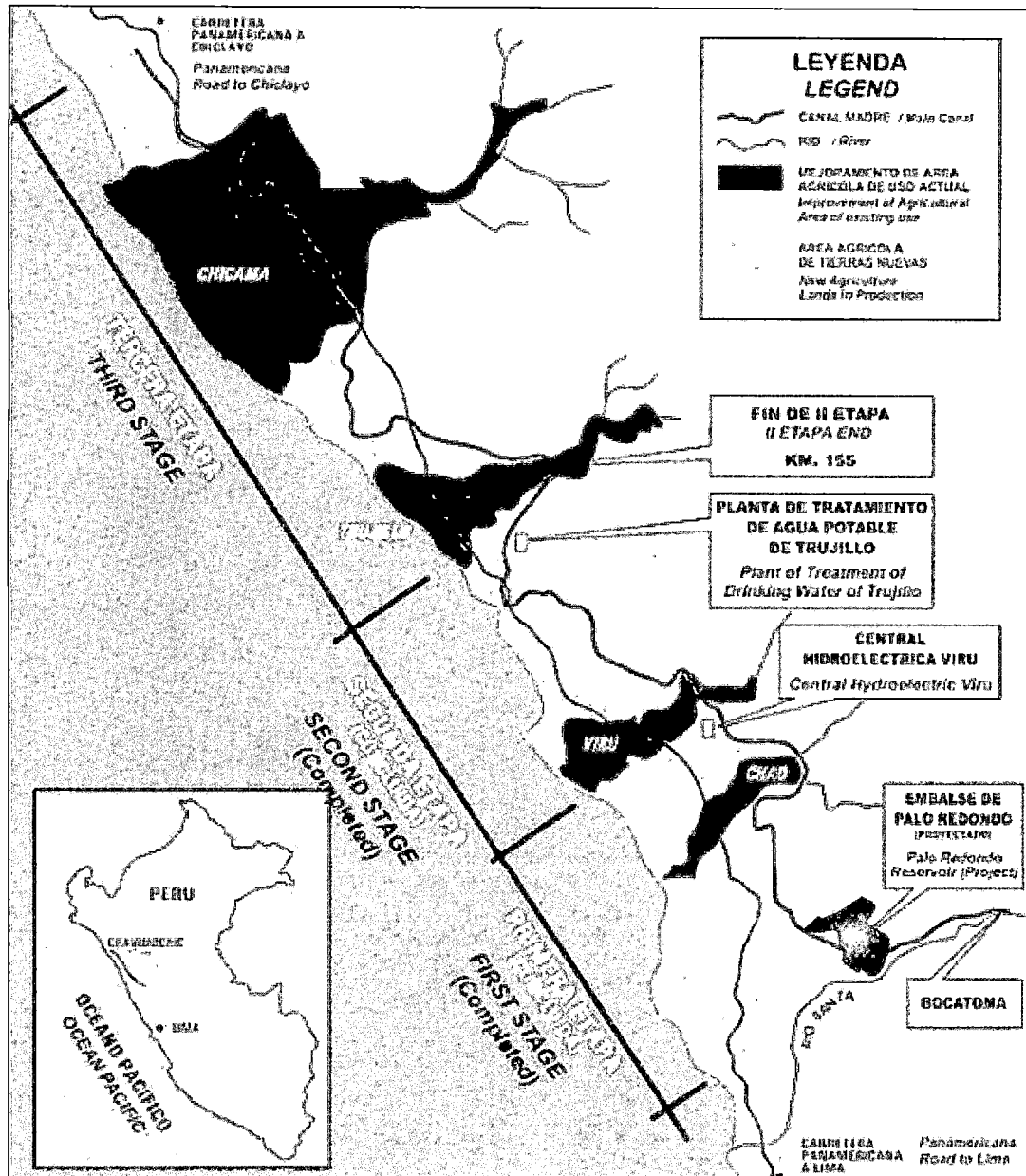
Se ubica en la región Chavín, Departamento de Ancash, provincias de Santa y Casma. Desde la fecha de su creación, se han ejecutado las obras de ingeniería que permiten derivar las aguas del río Santa hacia su margen izquierda y así posibilitar el mejoramiento de los niveles de producción agraria. La infraestructura existente consiste en las bocatomas: La Huaca y La Vibora, canales IRCHIM y Carlos Leithg que riegan 4 264 ha.

#### Metas Globales,

- Mejorar los sistemas de riego (37 874 Ha) y ampliar la frontera agrícola en los valles de Santa, Lacramarca, Nepeña, Casma y Sechín (14 450 Ha).
- Optimizar el uso de los recursos agua-suelo, considerando la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas disponibles en el ámbito del Proyecto Especial.
- Propiciar la generación de energía eléctrica mediante Centrales Hidroeléctricas o uso de energías no convencionales.
- Mejorar los niveles de producción y productividad agraria, promocionar la agroindustria y la exportación en los valles de influencia.

- Generación de empleo y reducción de la pobreza en el ámbito regional mejorando los niveles de ingreso per cápita.
- Promover la inversión pública y privada, nacional y/o extranjera en desarrollo integral del Proyecto.

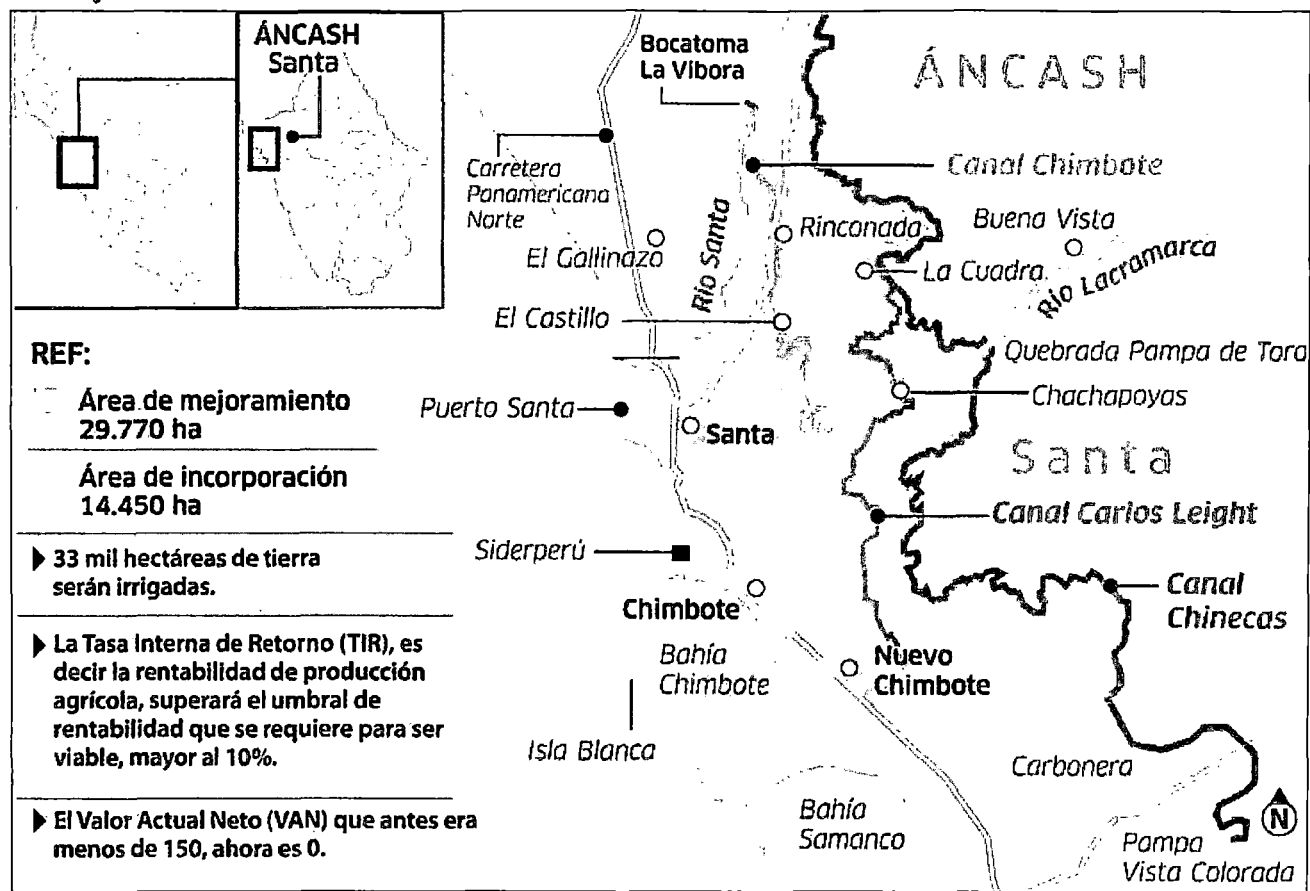
En la Figura 2.11 se muestra el sistema de irrigación del Proyecto, y la trayectoria del canal CHINECAS que a la fecha aún no ha sido ejecutada.



Fuente: [www.chavimochic.gob.pe](http://www.chavimochic.gob.pe)

Figura 2.10 - Esquema General del Proyecto CHAVIMOCHIC





Fuente: [www.pechinecas.gob.pe](http://www.pechinecas.gob.pe)

Figura 2.11 - Esquema General del Proyecto CHNECAS

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA MOCHE Y CHIMÚ

#### 3.1 PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS ANTERIORES

Este capítulo se desarrolló utilizando la información recopilada de investigaciones existentes, principalmente arqueológicas, relacionadas a la infraestructura hidráulica de las Culturas Moche y Chimú, y de visitas de campo efectuadas durante el desarrollo de la tesis. Algunos estudios efectuados son detallados en los que además de la descripción geográfica y arqueológica, se provee de información técnica de la infraestructura tales como: procedimiento constructivo, análisis de los materiales empleados y análisis hidráulicos.

A continuación se presenta una lista de las investigaciones más importantes relacionadas a la infraestructura hidráulica:

- Rafael Larco Hoyle (1940), en su publicación "Los Mochicas", además de la importante información acerca de la cultura Chimú, describe también algunos canales y las características de la técnica empleada en la construcción de estos canales y acueductos.
- Eling, Jr. Herbert (1977) realizó interpretaciones preliminares del sistema de riego antiguo de Talambo en el valle de Jequetepeque.
- Rogger Ravines (1978) publicó una recopilación de varios autores referente a la irrigación de la costa norte del Perú; entre ellos destaca las de Jorge M. Zegarra e Ian S. Farrington.
- E. Deeds, J. Kus, M. Moseley, F. Nials, C. Ortloff, L. Pippin, S. Pozorski and T. Pozorski (1978) estudiaron la irrigación prehispánica con énfasis en la Pampa Esperanza del Valle de Moche.
- Además, en la década de los setenta se desarrolla el primer estudio interdisciplinario por el Programa de Riego Antiguo integrado por Eric Deeds, James Kus, Michael Moseley, Charles Ortloff, Lonnie Pipin, Sheila y Thomas Pozorski, los que centran sus estudios en la Pampa de la Esperanza y río Seco de Huanchaco.

- Charles R Ortloff (1981) realizó investigaciones acerca de la Ingeniería Hidráulica Chimú dividiendo su estudio en el sistema de canales de la Cumbre y en el sistema de canales de Pampas Huanchaco.
- James S. Kus Kus (1985) presentó un estudio de las técnicas de construcción empleada en el canal de La Cumbre.
- Charles Ortloff, Michael Moseley, Robert Feldman (1985) centraron su estudio en la ingeniería hidráulica del Sistema del Canal Intervalle "La Cumbre", Valle de Moche.
- Fidel Ramírez Prado, Jaime Deza Rivasplata (2000), realizaron una recopilación de todas las obras hidráulicas prehispánicas existentes a lo largo de la costa norte del Perú.

### 3.2 POTENCIALIDAD DE LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y SISTEMAS DESARROLLADOS PARA LA AGRICULTURA

En muchos sectores del desierto costero, donde se desarrollaron las culturas Moche y Chimú, la cantidad de terreno agrícola irrigado artificialmente por estas poblaciones nativas excede substancialmente a la cultivada hasta el año 1981, según Ortloff (1981).

La utilización de los suelos en la época Moche, según Larco (1940), fue como se muestra en la siguiente Tabla 3.1

Tabla 3.1 - Utilización de los suelos en la época Moche

Valles (Plano N°01)	Extensión Ha
Chicama	17 065
Santa Catalina	6 700
Víru	1 450
Chao y Huamanzanga	4 700
Santa	1 300
Lacramarca	400
Nepeña	2 000

Fuente: Larco (1940)

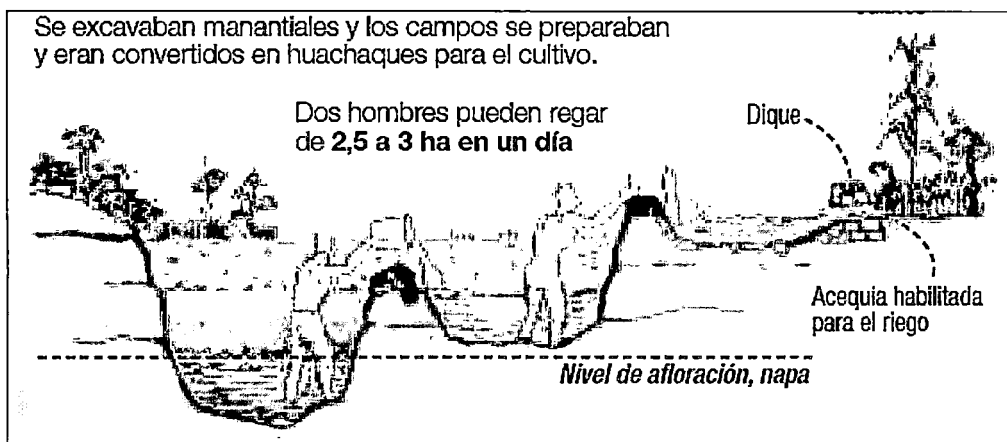
Para hacer posible el cultivo en estas zonas áridas, los nativos de esa época desarrollaron técnicas agrícolas para aprovechar los espacios aptos para la agricultura dentro y fuera de los valles incluyendo las zonas en las que se podía

encontrar el agua subterránea, Deza (1999). Estas técnicas agrícolas se describen a continuación:

#### a) **Huachagues, o huertos hundidos**

Es un sistema de riego que consiste en aprovechar el agua por filtración. Los Huachagues son originalmente pozas, puquios, las cuales han sido drenadas por canaletas (Figura 3.1); luego por un proceso artificial de eutrofización<sup>1</sup>, que consiste en sembrar plantas de raíces anchas y carnosas apropiadas para este tipo de suelo fangoso como: la totora, junco, achira, etc., se fue rellenando hasta convertir la sedimentación artificial en tierra vegetal que no necesitaba de riego, puesto que la humedad era óptima.

Estas tierras vegetales fueron apropiadas para cultivar alimentos de subsistencia, debiéndose obtener al año dos o tres cosechas de zapallo, maíz, pallar, frijol, arracacha, pepino, etc. Esta experiencia se realizó en pozas pequeñas y en puquios cercanos al mar (Foto 3.1), así como en los deltas húmedos de las desembocaduras de los ríos.



Fuente: El Comercio (2010)

Figura 3.1 – Forma de riego de los Huachagues

#### b) **Terrazas o bancadas**

Estas terrazas artificiales se encuentran en las laderas, amplias o empinadas, en alturas mayores a 500 m.s.n.m. regadas directamente por lluvias o por un

<sup>1</sup> En ecología, Eutrofización es el incremento de sustancias nutritivas en las aguas de un río, un lago o un embalse, se refiere específicamente al aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático.

sistema de canales; las terrazas tienen sus variantes costeras conocidas como “bancadas” las que se construyeron en lugares amplios y sin mucha pendiente.



Foto 3.1 - Gran Huachaque ceremonial ubicado en la ciudadela Tschudi, Chan Chan, Trujillo

Se trata de cuadriláteros de hasta 30 m de lado, cercados con paredes de distintos tamaños (según el lugar), desde simples bordes de tierra de 1 m de alto a paredes de piedra y mortero (pirca), tapia y adobe de 2 m de altura, como las de Cerro Colorado (Chepén-Zaña).

**c) Mahamaes**

Este sistema propio de la costa, era posible en sitios donde el manto freático se encontraba cerca de la superficie. Consistía en la remoción de médanos, arena y tierra suelta, hasta obtener un fondo de tierra húmeda del subsuelo. En la costa norte son muy frecuentes, aunque se observan algunos restos en Olmos, Chicama, Moche, Virú, Santa y Nepeña.

**d) Sistemas de canales**

Conjunto de canales abiertos que aprovechaban el riego por gravedad. Consisten en captar agua desde un punto de captación del río (bocatoma), que

en la costa norte se ubican a alturas mayores a 200 m.s.n.m. por donde se desvía parte del caudal del río a los terrenos de cultivo.

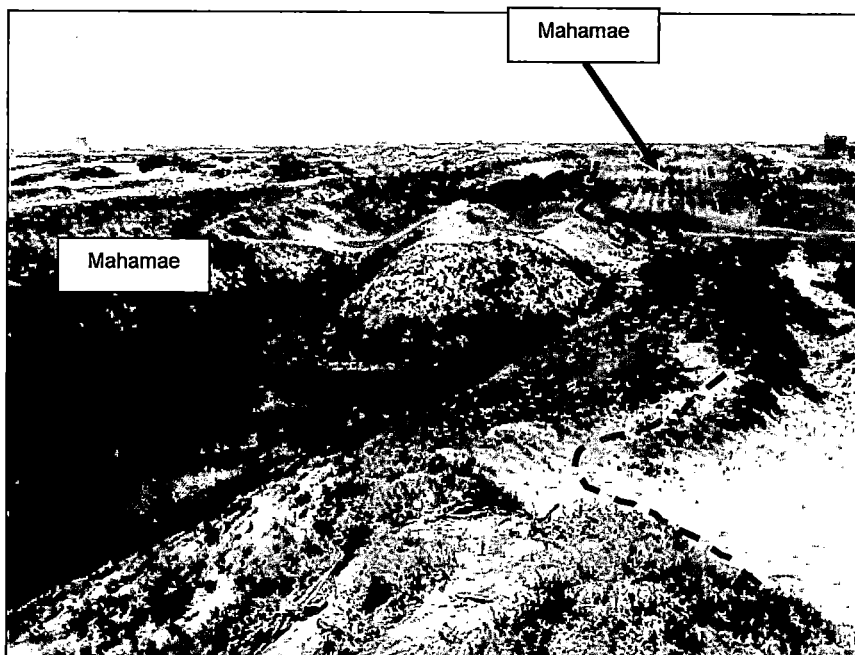


Foto 3.2 - Mahamaes en Choroval, Valle de Moche

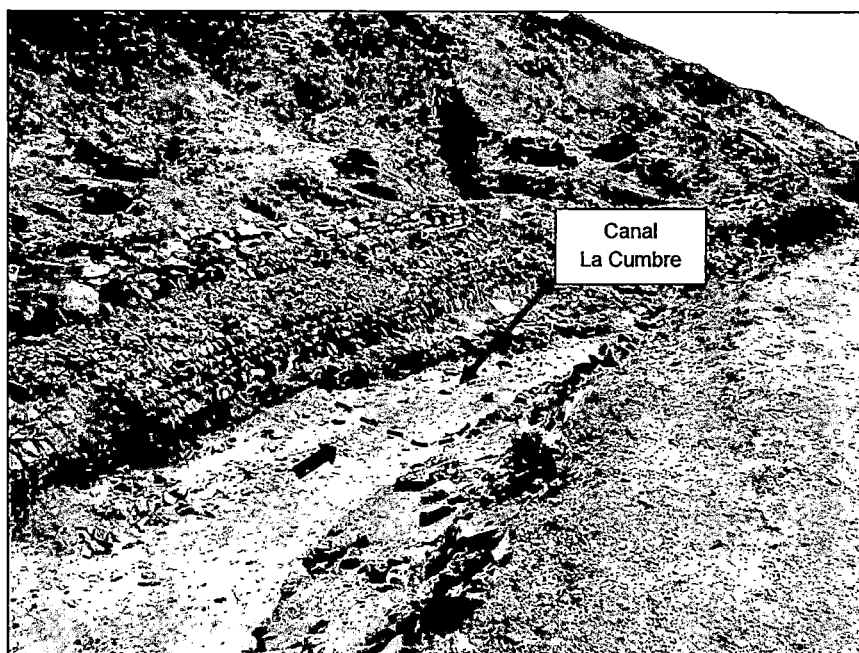


Foto 3.3 - Canal Intervalle La Cumbre, Valle de Chicama

### 3.3 INFRAESTRUCTURA PRINCIPAL DE RIEGO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

La infraestructura hidráulica encontrada en el área de influencia de las culturas Moche y Chimú está representada por un complejo sistema de irrigación, que involucra sistemas de captación, sistemas de transporte, distribución e incluso almacenamiento de agua.

Dentro de la influencia de estas culturas que incluyen 15 valles, sólo se encontró información relacionada a la infraestructura hidráulica en 6 de estos valles que son: Lambayeque, Zaña, Jequetepeque, Chicama, Moche y Santa. De los cuales los valles de Lambayeque, Jequetepeque y Moche (Santa Catalina) son los que presentan mayor concentración de estructuras.

Con el fin de dar a conocer la magnitud de la infraestructura hidráulica desarrollada por estas culturas, se han elaborado planos de inventario, clasificación y ubicación de las bocatomas, canales, acueductos y embalses encontrados en el área de estudio,

Los testimonios arqueológicos referidos a la infraestructura hidráulica que se utilizaron para la elaboración de los planos, se encontraban en el siguiente estado:

- Croquis de ubicación de las estructuras en planos no oficiales y sin escala.
- Descripciones literales de la ubicación de las estructuras, crónicas, etc.

Según lo descrito anteriormente, los planos elaborados sólo podrán servir de referencia para la ubicación de las estructuras. Se necesitarán más investigaciones arqueológicas, investigaciones de reconocimiento en campo y de levantamiento topográfico de la infraestructura hidráulica para completar y mejorar estos planos.

La ubicación de la infraestructura hidráulica se encuentra dibujada en cuatro planos (Escala 1:100 000, IGN), clasificados de la siguiente manera:

Tabla 3.2 - Ubicación de la Infraestructura Hidráulica,  
 Clasificada por Valles

Plano	Nº Plano
Ubicación de las Infraestructuras Hidráulicas Valle Reque-Zaña	3.1
Ubicación de las Infraestructuras Hidráulicas Valle Zaña-Jequetepeque	3.2
Ubicación de las Infraestructuras Hidráulicas Valle Chicama	3.3
Ubicación de las Infraestructuras Hidráulicas Valle Moche	3.4

Elaboración Propia

### 3.3.1 Bocatomas

No se ha encontrado mucha información respecto a la ubicación específica de estas obras de captación, puesto que prácticamente no han subsistido por ser muy fáciles de destruir, o por que los habitantes actuales han utilizado los mismos lugares para las tomas de agua. Pero se entiende que todos los canales descritos más adelante debieron iniciar su recorrido con una estructura de captación.

Tabla 3.3 - Inventario de la Infraestructura Hidráulica  
 Bocatomas

Nombre Estructura	Valle	Ubicación Plano N°, Cuadrícula N°	Longitud (km)	Dimensiones	Estado
Atajo	Lambayeque	Plano N° 3.1, C-3	-	-	-
Huabal	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-5	-	-	-

Elaboración Propia

### 3.3.2 Canales

Los canales son las estructuras que más se han encontrado en la zona de estudio, en la Tabla 3.4 se registra la información acerca de estas estructuras las cuales ascienden a una longitud total de 816 km distribuidos en diferentes valles.

El canal La Cumbre que se encuentra ubicado en el Plano N°05, es la estructura más ampliamente analizada por los investigadores, puesto que representa el alto nivel de ingeniería y de organización laboral que alcanzaron los antiguos pobladores. Ortloff (1981) en su obra "La Ingeniería Hidráulica Chimú", desarrolló una investigación profunda de un tramo de este canal.

Según se observa en los planos mencionados, el trazo de los canales se inicia en las cotas altas de los valles y descienden a las partes bajas bordeando el pie de los taludes dominando las tierras.



Tabla 3.4 - Inventario de la Infraestructura Hidráulica  
Canales

Nombre Estructura	Valle	Ubicación Plano N°, Cuadrícula N°	Longitud (km)	Dimensiones	Estado
Taymi Antiguo	Lambayeque	Plano N° 3.1, D-2	78,0	-	-
Taymi Anexo	Lambayeque	Plano N° 3.1, D-1	7,5	-	-
Racarumi I	Lambayeque	Plano N° 3.1, G-2	45,0	-	-
Racarumi II	Lambayeque	Plano N° 3.1, F-2	44,0	h:12 -15m	-
Chancay	Lambayeque	Plano N° 3.1, G-2	52,0	-	-
Cucureque	Lambayeque	Plano N° 3.1, F-3	42,0	-	-
Brazo 1	Lambayeque	Plano N° 3.1, F-4	19,0	-	-
Brazo 2	Lambayeque	Plano N° 3.1, E-4	17,0	-	-
C. Simpilipampa	Saña	Plano N° 3.2, C-2	17,0	-	-
C. Matalindo	Saña	Plano N° 3.2, E-1	10,0	-	-
C. Saltropon	Saña	Plano N° 3.2, C-1	23,0	-	-
San Nicolas	Saña	Plano N° 3.2, E-1	18,0	-	-
C. Talambo	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-5	26,0	h:4m , b:6m	-
C. Temprano	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-4	27,0	-	-
C. T-1	Jequetepeque	Plano N° 3.2, G-3	8,0	-	-
C. T-2	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-4	27,0	-	-
C. T-3	Jequetepeque	Plano N° 3.2, E-3	19,0	-	-
C. Pampa de Santa Maria/C. Tecapa	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-6	25,0	-	-
C. La Cumbre	Chicama	Plano N° 3.3	63,0	h:1-2m , b:2- 10	-
C. San Antonio	Chicama	Plano N° 3.3	36,0	-	-
La Mochica	Moche	Plano N° 3.4, F-5	19,5	-	Rehab.
La Mochica Alta	Moche	Plano N° 3.4, B-5	3,3	-	Rehab.
La Mochica Bajo	Moche	Plano N° 3.4, B-5	8,7	b:3m	Rehab.
Puquio alto	Moche	Plano N° 3.4, C-6	8,2	-	Rehab.
Puquio bajo	Moche	Plano N° 3.4, E-6	4,8	-	Rehab.
Puquio de Larrea	Moche	Plano N° 3.4, C-6	5,6	-	Rehab.
Canal Sto. Domingo	Moche	Plano N° 3.4, F-6	7,0	-	Rehab.
General La Moche	Moche	Plano N° 3.4, C-7	6,9	-	Rehab.
Choc Choc	Moche	Plano N° 3.4, E-7	4,0	-	Rehab.
Chanquen	Moche	Plano N° 3.4, E-7	2,0	-	Rehab.
Sun	Moche	Plano N° 3.4, C-7	4,8	-	Rehab.
Pisun	Moche	Plano N° 3.4, E-7	3,6	-	Rehab.
Jushape	Moche	Plano N° 3.4, E-7	2,4	-	Rehab.
Mitin	Moche	(*)	-	-	-
Huabalito	Moche	(*)	-	-	-
Choboral	Moche	Plano N° 3.4, E-8	2,3	-	Rehab.
La Barraca	Moche	(*)	-	-	-
Quirhuas	Moche	Plano N° 3.4, H-5	10,7	-	Rehab.
El Tambo	Moche	(*)	-	-	-
Camizo grande y chico	Moche	(*)	-	-	-
Moro	Moche	Plano N° 3.4, G-5	9,2	h:1.3m , b:3m	Rehab.
Vinchasao	Moche	Plano N° 3.4, F-5	24,7	h:1.1m , b:3- 6m	Rehab.
Huatape	Moche	Plano N° 3.4, G-6	5,7	-	Rehab.
Jesus Maria	Moche	Plano N° 3.4, H-4	21,2	-	Rehab.
Cerro Blanco	Moche	Plano N° 3.4, E-7	7,5	-	Rehab.
Catuay Alto	Moche	Plano N° 3.4, H-4	-	-	Rehab.
Catuay Bajo	Moche	Plano N° 3.4, H-4	6,8	-	-
Cumbray	Moche	Plano N° 3.4, I-2	20,3	-	Rehab.
Milagro Alto	Moche	Plano N° 3.4, B-4	16,3	-	-
Milagro Bajo	Moche	Plano N° 3.4, B-4	7,1	-	-
Acequia Incaica	Santa	(*)	-	-	-
Acequia Santa Clara	Santa	(*)	-	-	-
La Puntilla	Lambayeque	Plano N° 3.1, F-3	-	-	-
Siete Compuertas	Jequetepeque	Plano N° 3.2, F-4	-	-	-
Los Puquios	Moche	Plano N° 3.4, E-6	-	-	Rehab.

(\*) En la literatura estudiada se menciona el canal pero no se especifica la ubicación exacta.  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 Acueductos

Estas estructuras, conformadas por terraplenes, se encuentran principalmente en los cruces de quebradas o en zonas donde no se podía mantener la pendiente del canal, la mayoría de los acueductos se encuentran destruidos. En la Tabla 3.5 se presenta un listado de los acueductos más importantes.

Tabla 3.5 - Inventario de la Infraestructura Hidráulica  
Acueductos

Nombre Estructura	Valle	Ubicación Plano N°, Cuadrícula N°	Longitud (km)	Dimensiones	Estado
Dique-Acueducto	Jequetepeque	Plano N° 3.2, D-2	10.0	h:7,5m	-
Ascope	Chicama	Plano N° 3.3	1.8	h:15m s:5,66 %	-
Licapa	Chicama	(*)			
Quebrada del oso	Chicama	Plano N° 3.3	1.1	-	-
Mampuesto	Moche	(*)			
Tambo Real	Santa	(*)	-	-	-
Acequia Incaica	Santa	(*)	33.6	-	-

Elaboración Propia

(\*) En la literatura estudiada se menciona el acueducto pero no se especifica la ubicación exacta.

En el Capítulo IV se analiza las características hidráulicas y constructivas del acueducto de Ascope.

### 3.3.4 Embalses

Existen registros de que existieron embalses para el abastecimiento de agua para la agricultura en épocas de estiaje. Se presenta una lista de los embalses mencionados en los diferentes estudios.

Tabla 3.6 - Inventario de la Infraestructura Hidráulica  
Embalses

Nombre Estructura	Valle	Ubicación Plano N°, Cuadrícula N°	Longitud (km)	Dimensiones	Estado
Collique	Lambayeque	Plano N° 3.1, E-4	-	-	-
San Bartolo	Chicama	Plano N° 3.3	-	-	-
Mampuesto	Moche	Plano N° 3.4, C-5	0.8	h:10m b:20m	-
Bolsillo del Diablo	Moche	Plano N° 3.4, E-6	-	-	-

Elaboración Propia

### 3.4 DESCRIPCIÓN Y CRITERIOS TÉCNICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA MOCHE Y CHIMÚ

La planificación técnica para la construcción de estos sistemas de irrigación fue similar en toda el área de estudio. El perfeccionamiento constructivo de los sistemas de canales fue gradual, los proyectistas y constructores debieron aprender de la experiencia heredada de los antiguos pobladores y de otros factores que se les presentaron.

Entre estos factores, se incluye el **factor climático** que en conjunto con la geodinámica externa debieron significar grandes problemas para el mantenimiento y funcionamiento de la infraestructura hidráulica. Existe evidencia estadística y cronológica que confirman la ocurrencia de eventos naturales catastróficos, como precipitaciones, sequías y terremotos. El FEN debió significar una auténtica catástrofe para los Moches y Chimús, ya que al producirse precipitaciones extraordinarias y por ende descargas importantes, debió ocurrir destrucción de las tomas de agua, de tramos de canales principalmente en quebradas y en tramos donde se producía rebose.

El **factor social** también influyó en la optimización continua de las técnicas de construcción, que según el investigador Jaime Deza R. (1999) consistió en que las comunidades fueron organizadas voluntariamente por objetivos comunes para la organización de los frentes de trabajo. La situación económica y el bienestar de las comunidades de la costa estaban ligados directamente al riego, Charles R. Ortloff (1981), la ingeniería hidráulica era una responsabilidad del gobierno; quienes debían tener el poder para movilizar y coordinar fuerzas laborales capaces de construir nuevos sistemas y mantener los sistemas de irrigación existentes.

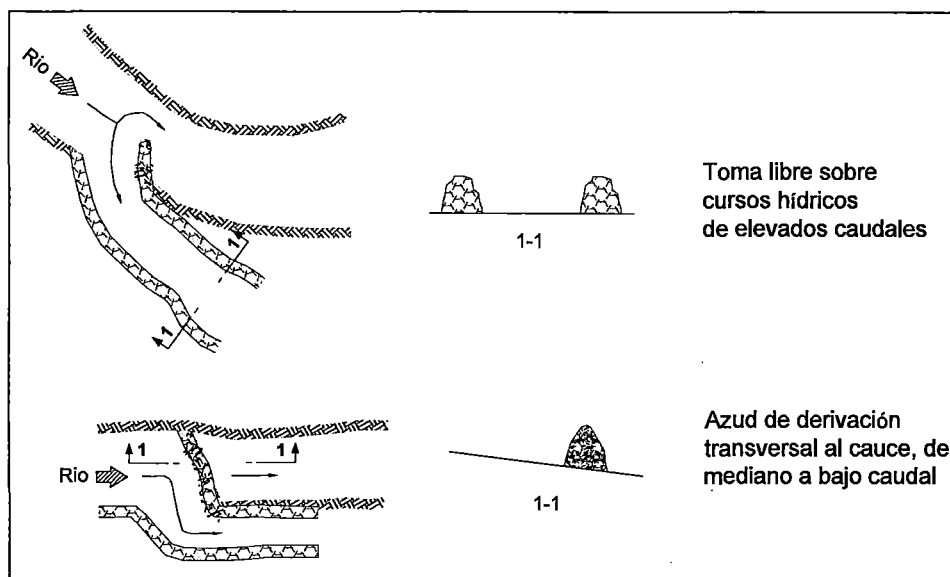
Se presenta la descripción de los procedimientos constructivos y otros aspectos de criterio de diseño que han intervenido en la concepción y la construcción de la infraestructura hidráulica de las culturas Moche y Chimú.

### 3.4.1 Bocatomas

Los sistemas de captación de los canales se ubicaron en los ríos. Estas fueron construidas de manera rústica, consistentes en derivaciones a base de pequeños barrajes construidos con troncos y piedras, Figura 3.2.

Un criterio adoptado respecto a la ubicación de la bocatoma, cuando más arriba se instalaba la bocatoma, mayor era la zona de tierras que podían ser irrigadas y que les permitiera conservar una pendiente promedio hasta llegar al punto final de conducción.

No se han encontrado vestigios de estas bocatomas pero es muy probable que las bocatomas antiguas fueran iguales a las bocatomas actuales que se denominan “rústicas”, Eling Jr. (1977).



Fuente: Damiani (2002)

Figura 3.2 – Esquema de Bocatomas Rústicas

### 3.4.2 Canales

Los primeros canales fueron zanjás, trincheras semi-ovoides, trazados desde la bocatoma directamente a los terrenos de cultivo, con el tiempo y la experiencia ganada fueron capaces de desarrollar criterios de diseño y construcción. En la Figura 3.3 se puede observar diferentes secciones hidráulicas que se presentan en canales prehispánicos.

Existe evidencia de canales llamados “intervalles” de varios kilómetros de longitud, que transportaban agua de un valle a otro contiguo, en los cuales se

efectuaron obras complementarias como: acueductos, diques, obras de protección, obras de estabilización de taludes, pozas disipadoras de energía, etc. para poder atravesar la topografía hasta su punto de entrega. Como ejemplo de este tipo de canales se puede mencionar el canal La Cumbre de aproximadamente 63 km de longitud, Figura 3.4.

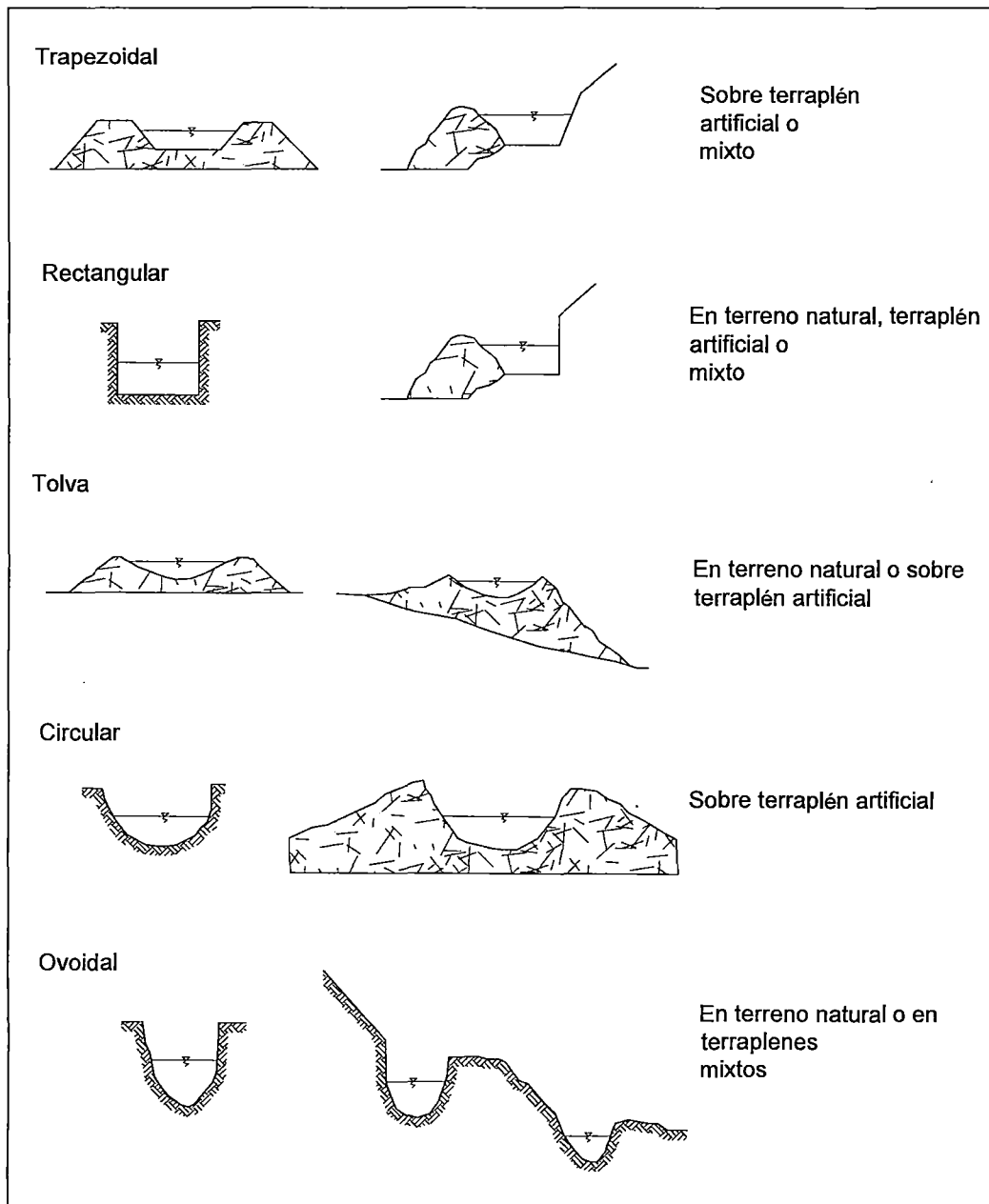
Las características principales de diseño y de construcción que se presentande manera general en estos canales, se describe a continuación:



Foto 3.4 - Canal Intervalle La Cumbre

#### a) Alineamiento del canal

Para planificar el alineamiento de los canales principales y secundarios, los antiguos pobladores debieron de ubicar primero las tierras agrícolas; colocando las estructuras públicas, estructuras domésticas, cementerios, etc., en las márgenes del valle para no interrumpir la labor agrícola. Además, el alineamiento del canal también dependía de las características topográficas que éste atravesaba. Los canales principales, desde la captación, recorren casi paralelamente al río, para luego bordear a media ladera o al pie del talud los cerros, en estos alineamientos se utilizaron pendientes que permitan abarcar la mayor cantidad de terreno agrícola y en las zonas de laderas se debió de cortar y rellenar el terreno natural para construir los canales. En la parte baja del valle, donde la pendiente es mucho menor el canal se ramifica.



Fuente: Damiani (2002)

Figura 3.3 - Tipología de Canales Prehispánicos

#### b) Alineamiento del canal

Para planificar el alineamiento de los canales principales y secundarios, los antiguos pobladores debieron de ubicar primero las tierras agrícolas; colocando las estructuras públicas, estructuras domésticas, cementerios, etc., en las márgenes del valle para no interrumpir la labor agrícola. Además, el alineamiento del canal también dependía de las características topográficas que éste

atravesaba. Los canales principales, desde la captación, recorren casi paralelamente al río, para luego bordear a media ladera o al pie del talud los cerros, en estos alineamientos se utilizaron pendientes que permitan abarcar la mayor cantidad de terreno agrícola y en las zonas de laderas se debió de cortar y rellenar el terreno natural para construir los canales. En la parte baja del valle, donde la pendiente es mucho menor, el canal principal se ramifica.

#### **c) Velocidad media en el canal**

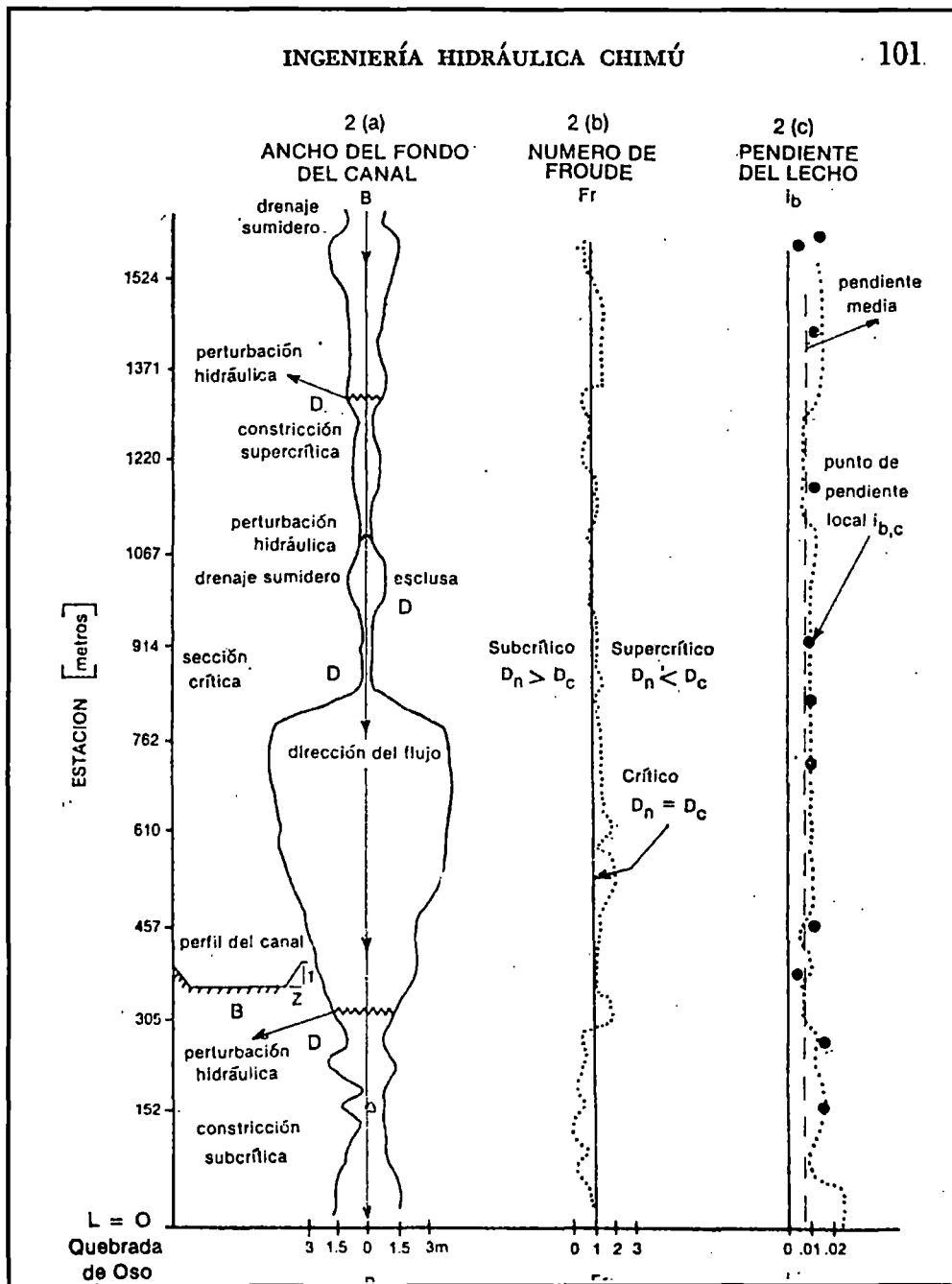
En algunos casos, como se muestra en la investigación realizada por Ortloff (1981) en el canal la Cumbre, las altas velocidades fueron controladas localmente construyendo segmentos del canal con variaciones en la geometría de la sección transversal del canal, es decir, ampliando en algunos tramos el ancho del canal con el propósito de disminuir la velocidad y disipar energía por efectos cambio de sección hidráulica. Ver Figura 3.4.

En otros casos, se construían estructuras de relleno y terrazas para mantener uniforme la pendiente del canal y como consecuencia mantener cte. la velocidad.

#### **d) Sedimentación y erosión del canal**

La sedimentación y erosión que se producía en los canales no revestidos de las culturas antiguas, fue un problema que enfrentaron cotidianamente. Cuando un canal se sedimentaba el punto de captación quedaba en un nivel más alto con respecto al fondo del río; este problema se solucionaba limpiando el sedimento del sector de la toma y de todo el canal o de los sectores afectados, y en otros casos se tenía que construir otro canal con un nivel más bajo, con la consecuente reducción de terrenos de cultivo aledaños al canal anterior. Esta operación resultó eficaz durante algún tiempo; pero a largo plazo se convertía en un grave problema por la reducción de tierras agrícolas, en un área importante

Por otro lado, respecto al problema de la erosión en los canales, en algunos casos la estabilización del canal consistió en recubrimientos artificiales, los canales más antiguos generalmente tenían refuerzos de arena fina y sedimento, y los canales más recientes tuvieron mortero compuesto de arena fina, sedimentos y gravas. Dichos recubrimientos artificiales sirvieron para controlar tanto la erosión del cauce como la pérdida de agua por filtración. En la Figura 3.5 se muestra una sección transversal del Canal La Cumbre con material sedimentado, Kus (1973).



Fuente: Ortloff (1981)

Figura 3.4 - Canal Intervalle La Cumbre



Finalmente, cuando el canal se encontraba sedimentado se reemplazó el canal por otro siguiendo las condiciones topográficas del terreno, pero procurando disminuir la pendiente del canal para disminuir la erosión.

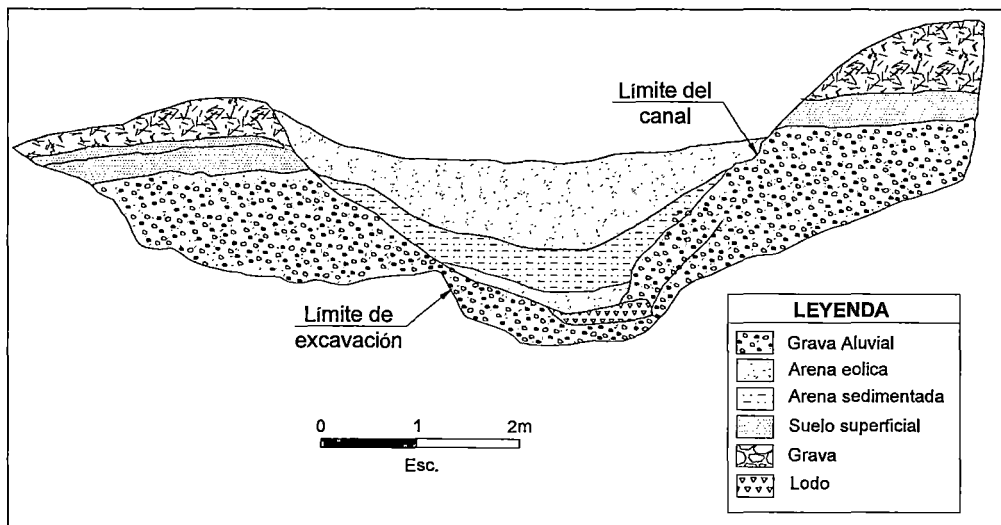


Figura 3.5 - Sección transversal del Canal La Cumbre (Kus, 1973)

**e) Construcción de canales en zonas de laderas**

En los tramos de canal bordeando las laderas de los cerros se empleó el corte y relleno para definir la sección hidráulica, además en algunos casos, en las zonas de relleno se construyeron pequeños andenes con material de la zona para estabilizar el talud de estos tramos, según se observa en la Foto 3.5. En las zonas donde era necesario que el canal pasara por afloramientos de roca, se empleaba calor para agrietar la roca y así facilitar el corte.

En algunos lugares se utilizaban las piedras desprendidas de los cerros, en forma de grandes lajas, cuyas caras planas se utilizaban de recubrimiento tanto en el interior como exterior del canal.

**f) Construcción de canales en zonas llanas**

Para los tramos en los que el canal cruzaba zonas llanas o de baja pendiente, la construcción consistía en la excavación de parte del cauce del canal y utilización del material removido para la construcción de las paredes del canal.

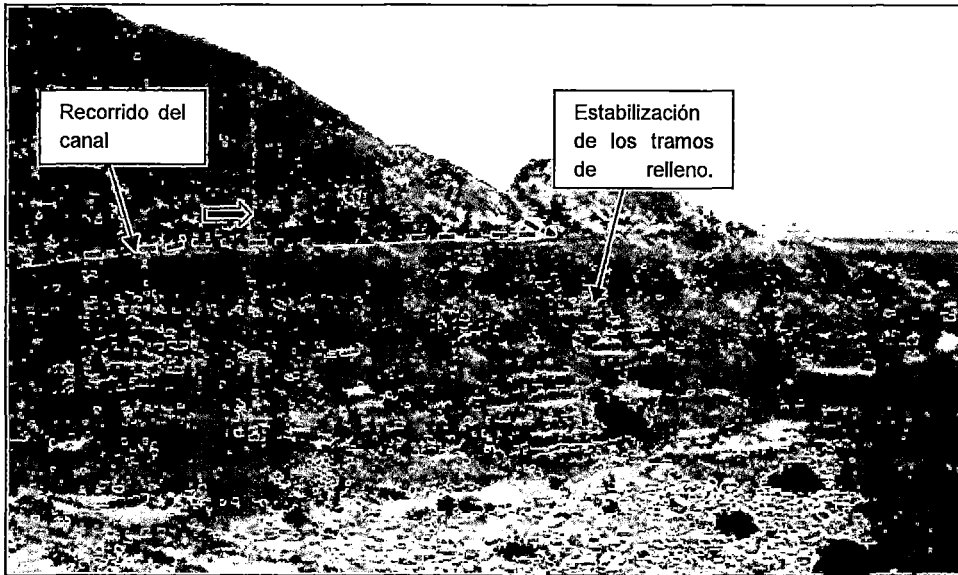


Foto 3.5 – Canal La Cumbre a media ladera

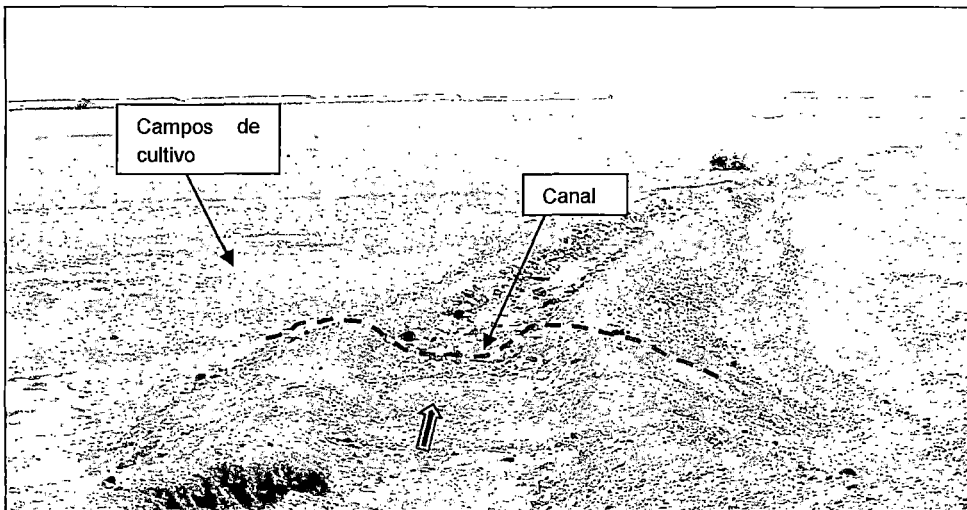


Foto 3.6 – Canal La Cumbre en topografía plana

#### g) Canales secundarios

Los canales contaban con un sistema que les permitía distribuir el agua a los campos de cultivo conocidos como canales secundarios, que consistía en la colocación de canales regaderas distribuidos a lo largo de la trayectoria del canal principal; estos canales pequeños fueron construidos con material de la zona colocados en el terreno en forma alineada, en dirección a los campos de cultivos y pequeñas parcelas agrícolas.

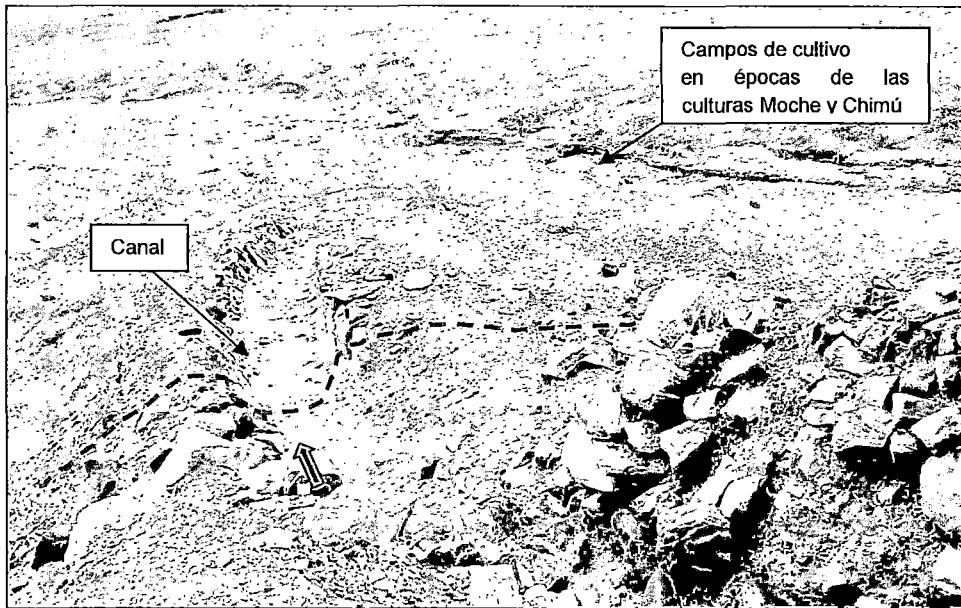


Foto 3.7 - Canal Secundario La Cumbre

#### h) Mantenimiento de los canales

Algunos sistemas de canales contaron con servicio de mantenimiento, que consistía en la limpieza periódica del cauce. Este aspecto fue revelado en las excavaciones que atraviesan los canales de Pampa Esperanza, en la cual se observó que la deposición de sedimentos fue el problema principal, especialmente en áreas donde el canal tenía una trayectoria larga. Estos sedimentos fueron periódicamente limpiados, y el material recolectado usado para construir y reforzar los tramos, y también se esparcían alrededor del canal para formar terrazas de tierra rica en sedimentos.

#### 3.4.3 Acueductos

Los acueductos fueron construidos en tramos donde bordear el cerro a media ladera no era una buena alternativa por problemas de estabilidad y de la geodinámica externa de las quebradas, también en depresiones donde se necesitaba ganar altura para mantener la pendiente del canal o para atravesar quebradas.

El material que utilizaron para la construcción de estos acueductos lo trasladaron de la zonas cercanas. En algunos casos utilizaron tierra arcillosa apisonada para formar la base del terraplén, en cuya parte superior se desarrollaba el canal, o grandes piedras unidas con mortero de tierra y gravas pequeñas. En otros casos

se aprovechó el material sedimentado en el río, que fue depositado durante los veranos, para formar las bases del acueducto.

El material que utilizaron para la construcción de estos acueductos lo trasladaron de zonas cercanas. En algunos casos utilizaron tierra arcillosa apisonada para formar la base del terraplén, en cuya parte superior se desarrollaba el canal, o grandes piedras unidas con mortero de tierra y gravas pequeñas. En otros casos se aprovechó el material sedimentado en el río, que fue depositado durante los veranos, para formar la base del acueducto.

Tuvieron en cuenta la sólida construcción del terraplén, que permitiera resistir los flujos de agua que discurrían por las quebradas en épocas de lluvia; sin embargo, muchos de estos acueductos colapsaron debido a que no contaban con un sistema que les permitieran drenar las aguas de la escorrentía que transportaba la quebrada.

En las Fotos 3.8 y 3.9 se aprecian, el acueducto de Ascope de 1.3 km y la sección transversal del acueducto que cruzaba la quebrada del Oso en el canal La Cumbre, este último ha sido casi completamente arrasado por el escurrimiento de la quebrada, probablemente debido a que no contaba con un orificio de desfogue.



Foto 3.8 – Vista panorámica Acueducto de Ascope

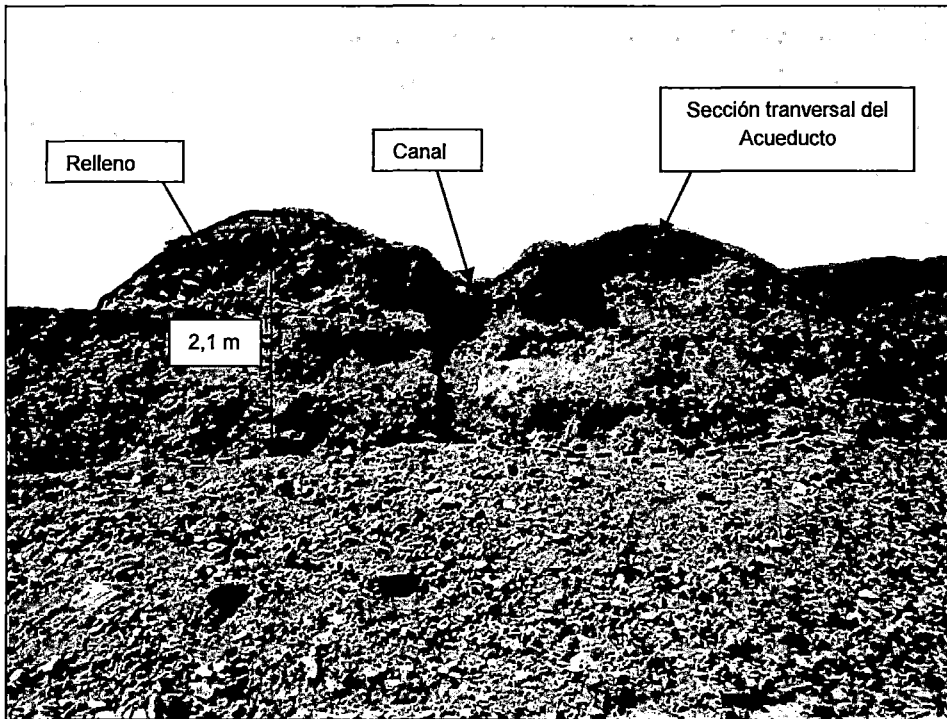
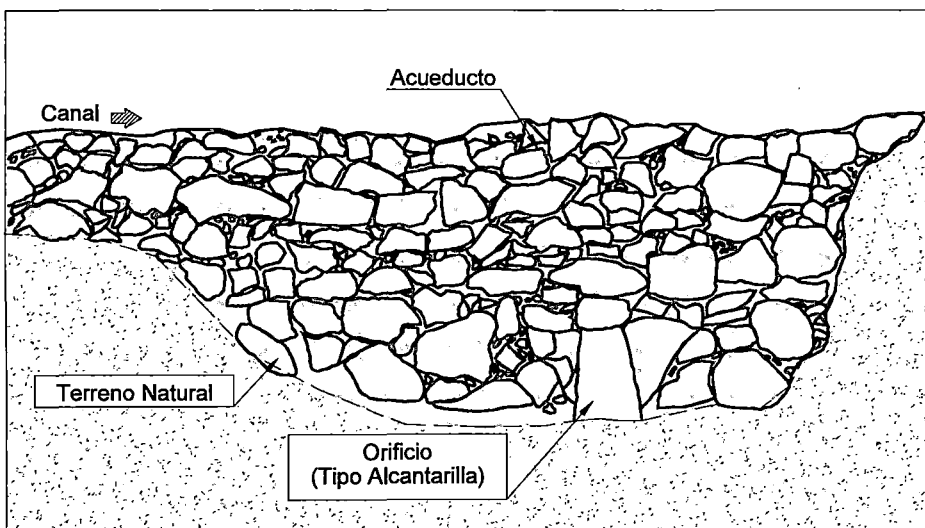


Foto 3.9 - Sección Transversal del canal La Cumbre sobre terraplén, Quebrada del Oso

No obstante, existe evidencia de que lograron superar el problema del drenaje en los acueductos, considerando la construcción de un orificio en la parte inferior del terraplén, tipo alcantarilla, que le sirvió para desfogar los flujos provenientes de la quebrada. En la Figura 3.6 se muestra el acueducto en el Complejo Arqueológico La Carbonera Quirihuac II, atribuida a la Cultura Chimú.



Fuente: Manrique/Suarez (1990)

Figura 3.6 - Acueducto con orificio tipo alcantarilla- Valle de Moche

Para dar estabilidad al talud exterior en algunos acueductos pequeños, no sólo utilizaron piedras para revestir el exterior y evitar su erosión; también utilizaron gradería como en la Foto 3.10. Esto sucede por lo general en aquellos acueductos que eran construidos de tierra o adobe. Estos pequeños acueductos y los construidos de tierra arcillosa o arena con cascajo que se mantenían en su sitio por capas superpuestas de piedra, eran casi siempre revestidos en el interior y exterior por piedras que formaban paredes casi lisas.

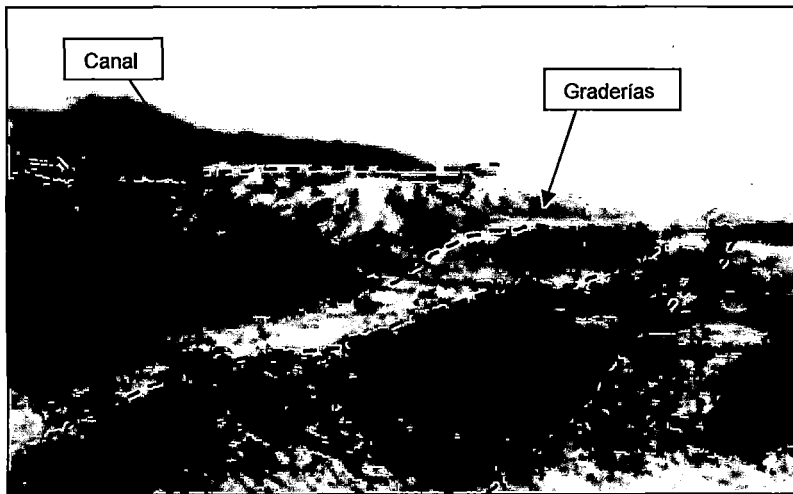


Foto 3.10 - Graderías en el Acueducto de Tambo real,  
Valle del Santa

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO DEL CANAL EL MORO Y EL ACUEDUCTO DE ASCOPE**

Según se describió en el capítulo anterior la infraestructura hidráulica existente perteneciente a las culturas Moche y Chimú es vasta, por tal motivo se eligieron dos estructuras, el canal El Moro y el Acueducto de Ascope para realizar una investigación más a detalle, los resultados se presentan en el presente capítulo.

#### **4.1 ESTUDIO DEL CANAL EL MORO**

Actualmente el canal se encuentra en uso. En esta sección se presenta las características hidráulicas y constructivas de un tramo del canal, las cuales han permitido su funcionamiento a través de los años, con este fin, se ha utilizado la información recopilada y estudios efectuados durante las visitas de campo.

##### **4.1.1 Información General**

###### **a) Antecedentes**

Se identificó el canal de riego "El Moro" de origen prehispánico, que capta las aguas del Río Moche, este canal fue construido con el propósito de irrigar las tierras de la zona costera y del valle. La construcción de este canal se inició en la época Moche IV.

El canal capta las aguas del Río Moche y tiene una longitud de 12,77 km (Figura 4.1, Plano N°06)

###### **b) Ubicación del Canal**

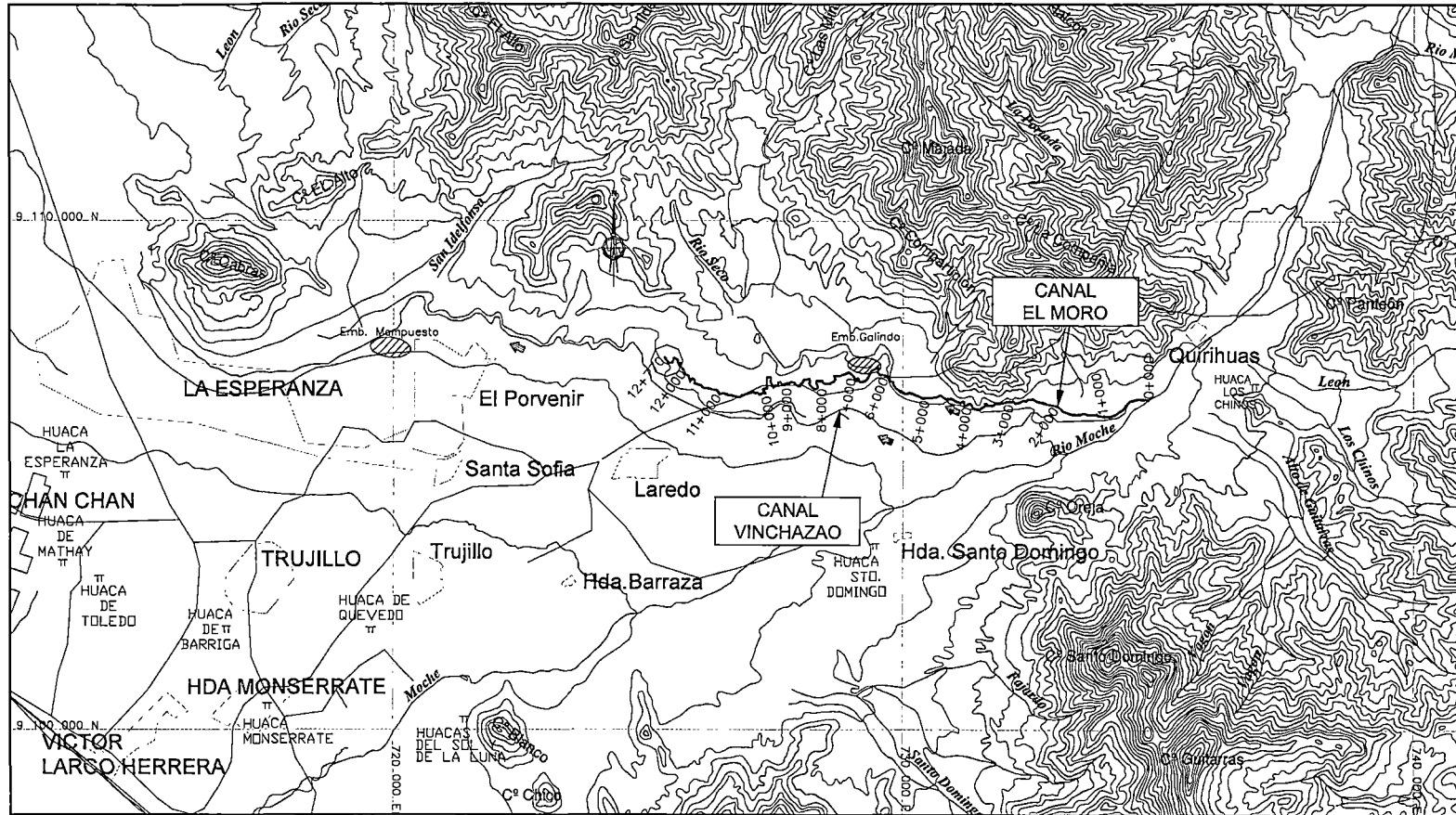
El Canal El Moro está ubicado en el valle del río Moche, al este de la ciudad de Trujillo. Políticamente se encuentra en el Departamento de La Libertad, Provincia de Trujillo y Distrito de Laredo.

###### **c) Acceso**

Se accede al canal desde Trujillo por la Ruta Nacional 010A (carretera asfaltada) que conduce hacia la Provincia de Otuzco hasta la altura del distrito de Laredo donde se continua el recorrido por una trocha carrozable aproximadamente 20 min en automóvil.

###### **d) Climatología**

La temperatura promedio anual en el Valle de Moche es de 17°C para el mes de Julio, hasta 26°C para el mes de Febrero, la humedad relativa anual es de 88,5% en el mes de Noviembre y de 89,3% en el mes de Mayo. La velocidad del viento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 – Ubicación del Canal El Moro



es alta y varía entre 8,65 y 10,22 km/h; a este valle le corresponde la clasificación de clima semicálido a seco. El clima es favorable para el desarrollo de cultivos, para la industria y exportación, durante todo el año.

#### 4.1.2 Estudios Realizados

Para analizar las características hidráulicas de este canal se desarrollaron las siguientes actividades:

##### a) Revisión de la Información Histórica

La investigación arqueológica más importante referida al canal El Moro es la realizada por Ortloff, Feldman, Moseley (1985), quienes afirman que la construcción del canal fue hecha en la época de los Moches, y se muestran los resultados de las excavaciones realizadas en secciones transversales del canal. Dichas excavaciones revelaron que el canal tuvo dos fases de uso distintas; la Primera Fase M-1, estuvo en uso durante el periodo Moche IV y Chimú temprano y transportó un caudal de 2,4 m<sup>3</sup>/s, y la Segunda Fase M-2 fue construida por los chimús después del evento extraordinario del 1100 DC<sup>1</sup>, incrementándose la capacidad hidráulica del canal a 5,8 m<sup>3</sup>/s. La Figura 4.2 muestra ambas fases del desarrollo del canal.

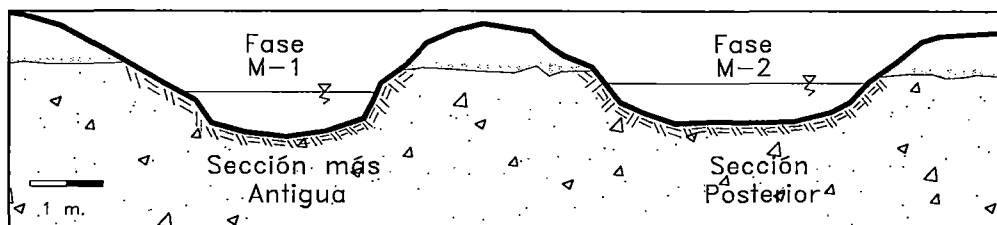


Figura 4.2 - Fases de Desarrollo del Canal El Moro

##### b) Revisión de la Información Cartográfica

Se utiliza la siguiente información:

- La Carta Nacional 17-F del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Escala 1:100 000, donde se ubica íntegramente el canal El Moro.
- El plano de planta, perfil y secciones transversales de las progresivas (0+000 – 1+000) del canal sin revestir El Moro realizado en el proyecto: "Inventario de la Infraestructura Menor de Riego en las Comisiones de

<sup>1</sup> Evento del 1100 DC, se refiere a un evento de ocurrencia del FEN, el cual es conocido como El Niño de Naylamp.

Regantes Quirihuac-El Moro”, 2006; este levantamiento topográfico se encuentran dibujados en los Plano N°07 y Plano N°08.

**c) Inspección de Campo**

Se realizaron dos inspecciones de campo, la primera inspección consistió en la ubicación geográfica del Canal El Moro y de su bocatoma, mientras que en la segunda inspección se realizó el recorrido del canal con instrumentos de medición para obtener información del alineamiento del canal e identificar sus características constructivas; además se realizó el levantamiento de información de las secciones transversales del canal.

**d) Hidrología**

Para tener una idea de los caudales en el río Moche cerca de la ubicación de la bocatoma del canal El Moro, se presenta los registros de la estación hidrométrica Quirihuac, ubicada cerca a la bocatoma como se muestra en la Figura 4.3.

Tabla 4.1 – Estación Hidrométrica Quirihuac

Estación	Altitud m.s.n.m	Este	Norte	Periodo de Registro
Quirihuac	200	735 118	9 105 863	1931-2000

Elaboración Propia

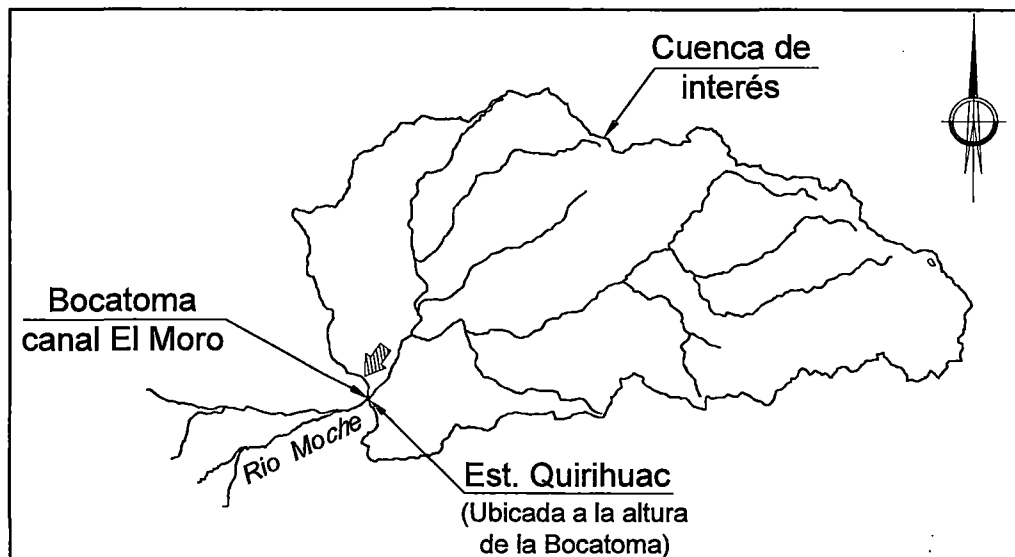


Figura 4.3 - Cuenca del Río Moche desde la Bocatoma del Canal El Moro

El **hidrograma** de la Estación Quirihuac se muestra en la Figura 4.4, se observa que los meses de Enero a Mayo corresponden a los meses húmedos con un promedio de 19,16 m<sup>3</sup>/s, y los meses de Junio a Diciembre corresponden a los

meses de estiaje con un promedio de  $1,91 \text{ m}^3/\text{s}$ , el promedio mensual de todo el registro es de  $9,12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El registro mensual se presenta en la Tabla 4.2, según se observa, el caudal es variable no solo en función de los meses sino también en función de los años, se identifican por ejemplo años húmedos.

El máximo caudal mensual identificado es de  $107,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (enero, 1948), casi seis veces por encima del caudal promedio mensual de los meses húmedos (ene-may).

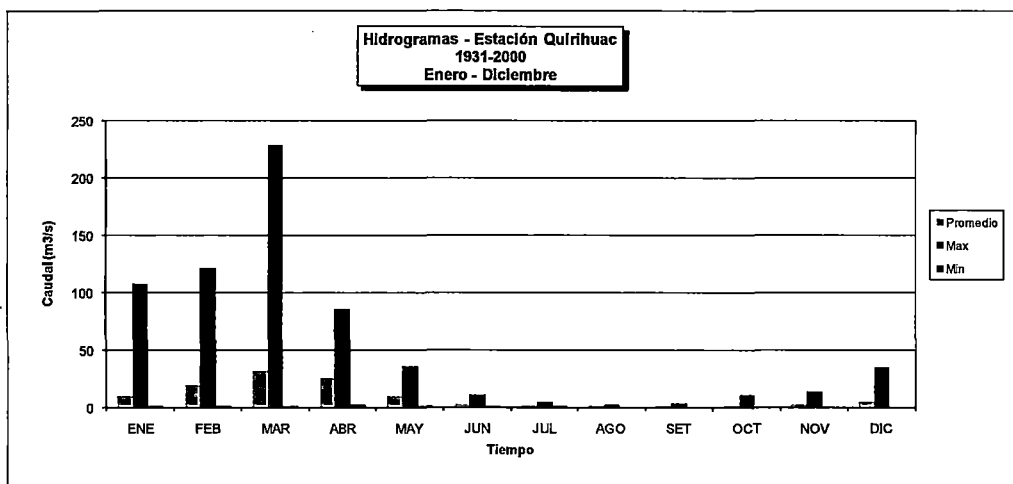


Figura 4.4 - Hidrograma Estación Quirihuaac

### 4.1.3 Análisis Hidráulico del Canal

#### a) Situación Actual

En la actualidad, el Canal El Moro se encuentra administrado por la junta de usuarios del sub-distrito de riego Moche, comisión de regantes El Moro. Tiene una longitud aproximada de  $12,77 \text{ km}$ , presenta tramos de canal revestidos y tramos sin revestir, así como una sección hidráulica variable a lo largo de toda su trayectoria; también presenta otras obras menores que se detallan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.2 – Registro Histórico Estación  
Hidrométrica Quirihuauc

Operadora: SENAMHI  
Periodo: 1931-2000

Departamento: La Libertad  
Provincia: Trujillo  
Distrito: Laredo

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m<sup>3</sup>/s)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1931	2,25	2,14	11,61	24,64	2,50	1,04	0,60	0,39	0,30	1,12	0,37	5,15
1932	10,42	26,32	16,86	21,70	14,48	4,23	1,75	1,63	1,01	1,26	3,12	13,70
1933	15,75	40,21	122,43	86,47	7,64	2,68	2,21	0,78	1,12	1,72	0,73	0,76
1934	12,46	23,28	82,74	65,26	16,76	3,61	3,12	1,53	0,85	0,96	0,95	0,92
1935	1,56	3,06	44,46	35,27	9,81	1,84	1,11	0,90	0,48	1,51	14,12	35,02
1936	29,64	11,34	23,37	25,58	29,29	3,14	1,59	0,93	1,15	2,46	1,36	0,50
1937	1,50	1,95	16,43	11,10	2,20	0,90	0,50	0,23	0,28	0,86	3,11	6,35
1938	1,58	11,12	21,34	25,68	8,29	2,29	0,91	0,54	0,49	0,64	0,20	1,96
1939	3,97	7,28	16,01	25,96	12,56	5,13	2,46	1,50	2,69	2,40	1,25	4,78
1940	7,15	11,05	15,29	22,17	8,21	3,25	0,93	0,45	1,06	3,62	1,41	1,13
1941	9,22	32,54	39,48	3,22	7,10	0,85	0,66	0,51	0,37	0,10	0,58	1,91
1942	2,08	4,14	4,68	9,82	11,30	2,39	1,00	0,51	0,37	0,27	0,23	0,67
1943	2,11	33,26	25,36	38,75	11,49	2,33	1,28	1,08	0,72	0,96	1,11	3,90
1944	4,60	26,80	59,72	29,71	14,41	2,09	0,95	0,41	0,21	0,10	0,06	1,01
1945	9,68	24,11	56,71	42,25	8,36	1,65	0,77	0,49	0,45	0,39	0,68	1,01
1946	30,40	23,19	32,41	62,37	20,27	2,28	1,90	1,04	0,79	1,69	3,18	2,74
1947	4,25	7,04	14,77	47,96	21,87	5,88	2,99	2,23	2,55	3,17	4,02	7,42
1948	107,53	16,33	17,22	26,19	13,60	2,76	1,65	1,16	0,46	11,37	13,16	1,23
1949	0,57	7,85	39,03	28,96	12,18	2,19	0,97	0,41	0,25	0,28	1,65	0,22
1950	0,49	6,16	4,78	10,08	1,04	0,62	0,37	0,17	0,09	0,32	0,87	4,74
1951	2,58	12,91	10,50	12,56	1,89	0,51	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	16,78	15,27	56,35	47,38	6,18	2,25	0,69	0,25	0,00	0,14	0,00	2,58
1953	13,38	49,22	42,54	39,89	11,35	2,45	1,05	0,52	0,93	0,71	4,42	5,50
1954	16,66	8,27	48,38	11,44	4,52	1,46	0,51	0,26	0,23	3,75	5,71	1,17
1955	6,06	34,89	28,70	11,68	5,89	3,30	0,68	0,26	0,58	1,84	1,10	2,23
1956	10,49	35,86	70,16	44,07	7,95	2,04	0,68	0,35	0,30	3,43	0,53	0,22
1957	1,14	20,76	54,88	67,23	11,17	2,18	0,83	0,30	0,50	0,38	1,34	1,47
1958	6,13	9,43	35,08	14,48	4,63	1,26	0,42	0,26	0,11	0,96	0,14	0,23
1959	0,12	5,46	24,88	48,77	13,66	1,93	0,82	0,31	0,37	1,76	2,18	6,02
1960	7,73	18,06	30,75	15,83	3,91	0,90	0,33	0,22	0,48	0,76	0,66	1,11
1961	9,26	5,09	18,34	16,11	7,69	2,23	0,51	0,15	0,09	0,18	1,00	3,19
1962	15,64	31,86	68,24	52,63	7,43	2,32	0,76	0,37	0,25	0,26	1,07	0,28
1963	0,42	0,64	24,63	28,43	6,58	0,80	0,35	0,18	0,07	0,28	1,44	7,24
1964	9,82	16,56	38,83	59,12	10,80	1,89	1,02	0,85	0,68	2,55	6,69	0,86
1965	1,70	3,40	37,02	20,59	6,83	1,33	0,59	0,32	0,44	1,66	3,37	3,02
1966	30,30	10,21	11,46	9,95	5,95	0,89	0,38	0,19	0,19	3,00	3,95	0,85
1967	22,05	95,27	49,42	13,09	5,94	1,43	0,81	0,35	0,24	3,42	1,21	0,74
1968	0,69	1,11	7,76	4,80	0,51	0,24	0,14	0,11	0,24	2,17	1,58	0,82
1969	0,61	4,63	27,65	29,96	3,80	1,89	0,45	0,17	0,13	0,78	3,73	12,64
1970	28,18	4,37	7,99	24,12	18,06	3,52	0,96	0,59	0,87	3,90	5,75	10,44
1971	4,70	10,10	54,59	29,14	5,48	2,00	1,09	1,06	1,29	4,00	2,35	4,71
1972	9,78	8,99	46,13	26,05	6,49	3,12	1,02	0,59	0,34	0,62	0,91	4,82
1973	15,57	8,60	28,25	60,87	32,75	5,62	3,93	1,47	1,97	4,34	6,11	5,18
1974	10,49	16,51	15,52	12,35	3,69	1,61	0,92	0,39	0,45	2,16	0,87	1,08
1975	7,55	17,89	59,95	30,77	9,27	4,13	1,20	0,90	3,44	8,65	4,62	0,99
1976	5,64	10,19	29,05	13,61	6,27	3,26	0,85	0,44	0,38	0,20	0,16	0,38
1977	8,75	53,55	23,01	11,26	3,57	1,38	0,68	0,55	0,33	0,41	0,32	1,98
1978	0,64	1,14	2,27	4,41	5,33	0,50	0,15	0,07	0,24	0,17	0,72	0,63
1979	1,63	7,17	23,34	9,87	3,05	1,04	0,25	0,16	0,35	0,19	0,16	0,13
1980	0,18	0,21	1,16	2,69	0,29	0,10	0,07	0,06	0,03	3,05	5,96	23,82
1981	2,40	41,92	27,91	7,52	2,49	0,61	0,38	0,22	0,13	0,97	2,48	7,87
1982	2,47	8,41	4,72	11,77	4,14	0,97	0,41	0,28	0,10	2,17	3,23	10,28
1983	23,47	9,45	55,29	49,06	16,83	8,74	2,00	0,95	0,87	1,60	1,02	6,40
1984	3,04	42,12	26,59	9,02	12,03	6,71	2,54	1,27	0,93	1,74	3,13	6,69
1985	2,86	3,38	6,97	7,47	3,21	1,09	0,34	0,24	1,27	1,12	0,33	1,49
1986	13,84	7,77	8,68	23,29	6,72	1,18	0,43	0,25	0,28	0,33	1,26	4,04
1987	19,23	21,40	9,96	11,72	5,79	0,80	0,51	0,37	0,28	0,28	1,67	1,03
1988	9,27	17,93	9,21	24,35	11,77	2,83	0,87	0,29	0,19	1,42	3,21	1,87
1989	10,95	27,19	22,02	27,34	7,88	1,25	0,66	0,45	0,36	6,01	2,41	0,53
1990	0,47	3,48	5,41	2,34	1,39	0,62	0,23	0,12	0,11	1,40	6,96	4,87
1991	1,82	4,42	12,19	7,36	6,34	0,90	0,37	0,21	0,10	0,22	0,88	1,15
1992	2,14	0,57	7,10	9,83	4,96	1,04	0,16	0,09	0,06	0,10	0,13	0,05
1993	0,71	15,54	28,28	26,51	12,75	3,46	1,10	0,54	0,77	3,77	12,26	7,63
1994	19,24	33,02	26,76	25,48	14,51	5,52	2,95	1,05	0,90	0,35	1,37	4,33
1995	3,76	6,20	7,68	11,27	4,51	1,87	0,90	0,63	0,20	0,86	4,05	4,23
1996	8,05	19,81	20,73	19,31	9,64	3,78	1,45	0,41	0,23	1,03	1,91	0,27
1997	0,24	6,24	4,33	3,33	2,77	0,32	0,17	0,12	0,11	0,10	2,14	33,96
1998	63,56	121,14	228,87	58,38	35,74	11,40	3,27	1,57	1,65	2,42	2,23	1,08
1999	7,88	88,21	16,77	25,28	26,88	7,63	4,41	1,68	3,79	6,55	3,67	
2000	4,96											
<b>Promedio</b>	<b>10,32</b>	<b>19,06</b>	<b>31,48</b>	<b>25,75</b>	<b>9,34</b>	<b>2,46</b>	<b>1,06</b>	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	<b>1,79</b>	<b>2,53</b>	<b>4,37</b>
<b>Max</b>	<b>107,53</b>	<b>121,14</b>	<b>228,87</b>	<b>86,47</b>	<b>35,74</b>	<b>11,40</b>	<b>4,41</b>	<b>2,23</b>	<b>3,79</b>	<b>11,37</b>	<b>14,12</b>	<b>35,02</b>
<b>Min</b>	<b>0,12</b>	<b>0,21</b>	<b>1,16</b>	<b>2,34</b>	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

□ Años húmedos  
Inicio: SENAMHI

Tabla 4.3 - Infraestructura menor de riego en el Canal El Moro (2008)

Obras	Cantidad
Canales de segundo orden	32
Compuertas de regulación	8
Puentes peatonales	3
Puentes peatonales rústicos	9
Puentes vehiculares de concreto	15
Aforador Parshall	1
Regla milimétrica	1
Alcantarilla de concreto	1
Desarenadores	2

Elaboración Propia

Desde la época de su construcción, este canal ha sufrido el deterioro periódico en varios tramos, principalmente en las zonas de cruce de quebradas (Foto 4.1), ocasionadas por agentes externos tales como activación de quebradas secas y desbordes en el canal generados principalmente en los periodos del Fenómeno de El Niño.

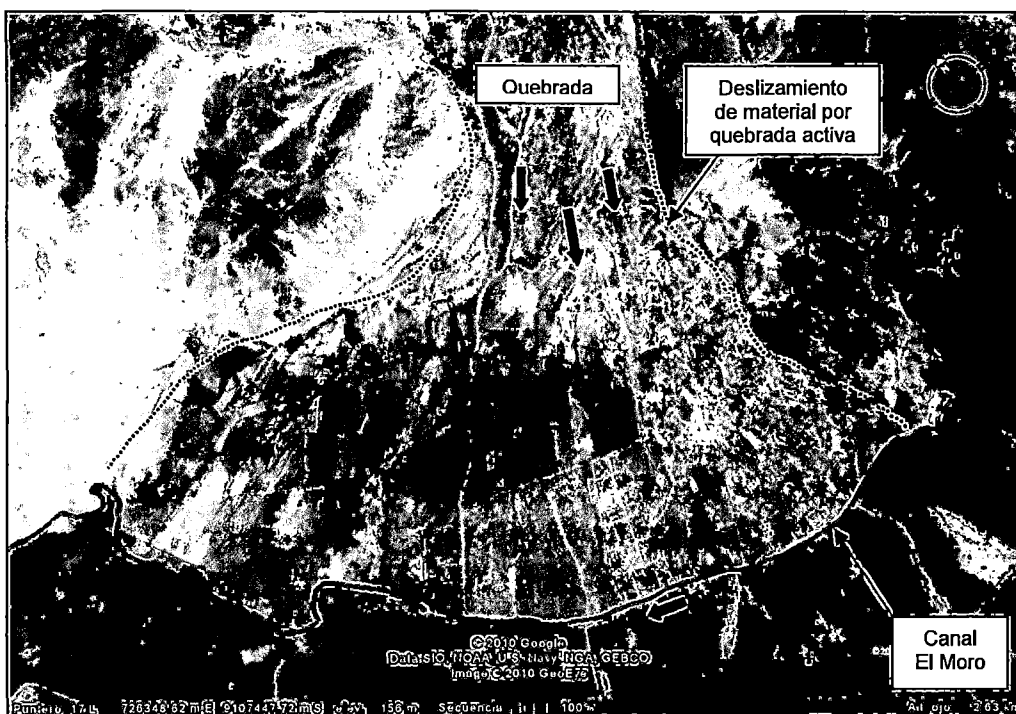


Foto 4.1 – Cruce de Quebrada en el Canal El Moro

El antiguo canal El Moro tiene una sección aproximadamente trapezoidal tal como se muestra en la Figura 4.7, actualmente en algunos tramos el canal se encuentra revestido, la sección hidráulica se encuentra excavada en terreno natural o construido sobre terraplenes artificiales a media ladera. Su estructura de toma y un tramo de canal denominado canal de derivación de 0,78 km de

longitud la comparte con el Canal Vinchazao que también data de la época de la cultura Moche; luego de este tramo se origina el canal de irrigación de primer orden El Moro de 12,77 km. En la Figura 4.5 se muestra un esquema del sistema actual de irrigación de este canal.

- Captación del sistema Moro-Vinchazao

El sistema de captación en la época de los moches era rústica; la bocatoma actual no ha cambiado de ubicación y se encuentra en la margen derecha del Río Moche, en las coordenadas UTM 734759E, 9106585N, este sistema actual presenta las siguientes características: es una estructura permanente con barraje de material de concreto armado, con toma de captación de 2,20 m de ancho, con dos ventanas de regulación con sus respectivas compuertas, y un aliviadero con una compuerta de control que cubre la mitad de su área; estas características se muestran en la Foto 4.2. Esta estructura de toma es compartida con otro canal prehispánico llamado "Vinchazao", que actualmente se encuentra en uso y es considerado como el canal más largo y de mayor capacidad de la parte baja del valle.

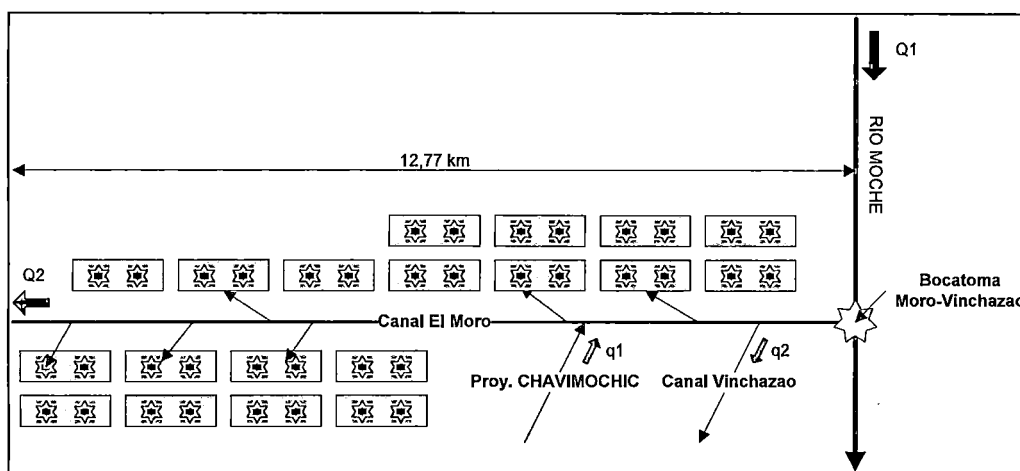


Figura 4.5 - Esquema del Sistema de Irrigación del Canal El Moro

- Canal de Derivación Moro-Vinchazao.

Los canales El Moro y Vinchazao comparten la misma bocatoma, inicialmente parten de un solo canal para luego dividirse después de recorrer 781 m en dos canales: canal El Moro y canal Vinchazao. El canal actual tiene el mismo recorrido que el canal de los moches y tienen una capacidad de 4,5 m<sup>3</sup>/s.

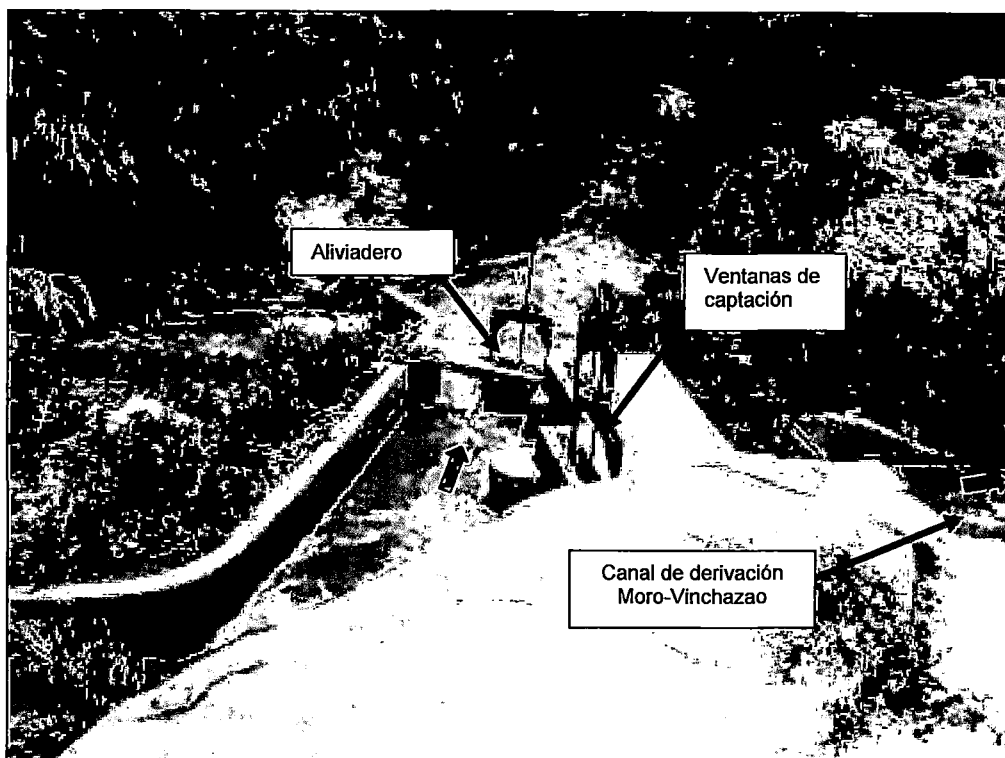


Foto 4.2 - Bocatoma actual del Canal Moro-Vinchazao

- Canal El Moro.

Se origina al final del canal de derivación Moro-Vinchazao, donde existe actualmente una estructura de bifurcación, el canal El Moro tiene una longitud total de 12,77 km, tal como se menciona este canal construido por los moches, tiene una sección aproximadamente trapezoidal de base  $b=1,9$  m y taludes  $1V:0,6H$ , su pendiente longitudinal es en promedio de  $S_0=0,2\%$ . Actualmente el canal tiene algunos tramos revestidos con concreto y otros tramos revestidos con mampostería, quedando algunos tramos sin revestimiento, como probablemente funciono en la época de los moche.

El tramo inicial del canal transcurre por una topografía plana siguiendo principalmente un recorrido en línea recta como se observa en la Foto 4.3, aproximadamente en la progresiva 2+500 su recorrido se inicia a media ladera bordeando los cerros (Foto 4.4), finalmente por la progresiva 4+500 la trayectoria del canal se aleja de los cerros y sigue un alineamiento que le permite conservar una pendiente constante.



Foto 4.3 - Canal El Moro en Topografía Plana

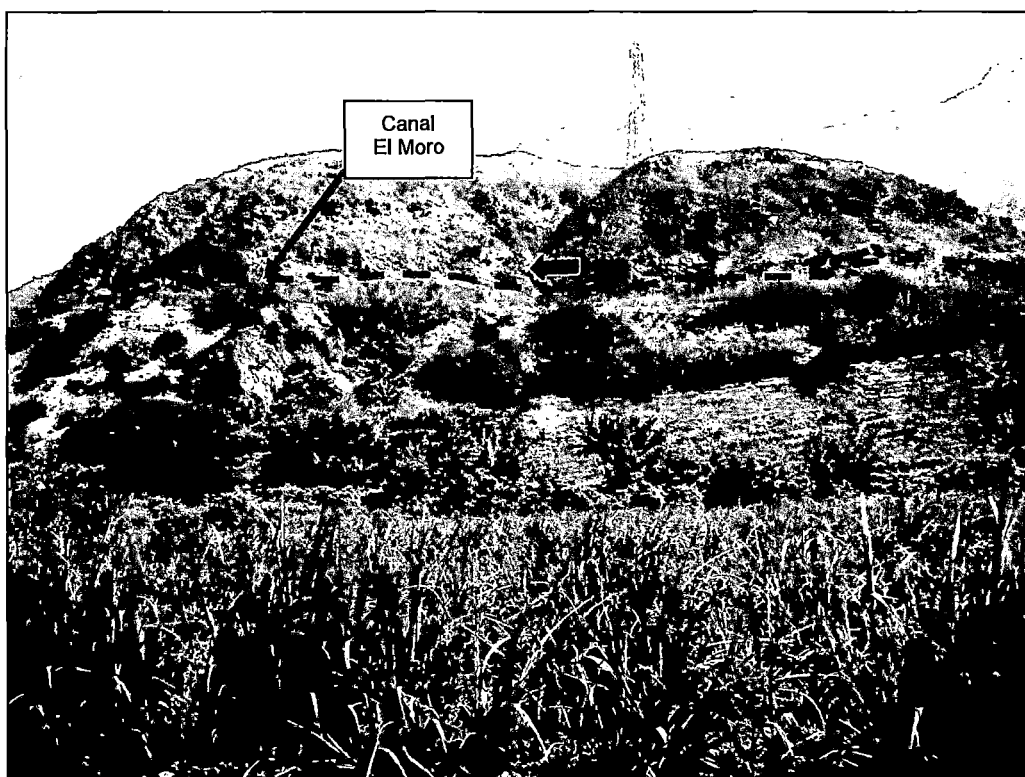


Foto 4.4 – Canal El Moro a Media Ladera



Actualmente, el canal El Moro se abastece de las aguas del río Moche durante todo el año, y en épocas de estiaje recibe el aporte de las aguas del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC (Foto 4.5).

Tabla 4.4 - Revestimiento del Canal El Moro (2008)

Progresiva		Revestimiento	Longitud (km)
Inicio	Fin		
0+000	0+320	Sin revestir	0,32
0+320	1+355	Mampostería	1,04
1+355	4+435	Sin revestir	3,08
4+435	9+772	Mampostería	5,34
9+772	10+822	Concreto	1,05
10+822	12+768	Sin revestir	1,95

Elaboración Propia

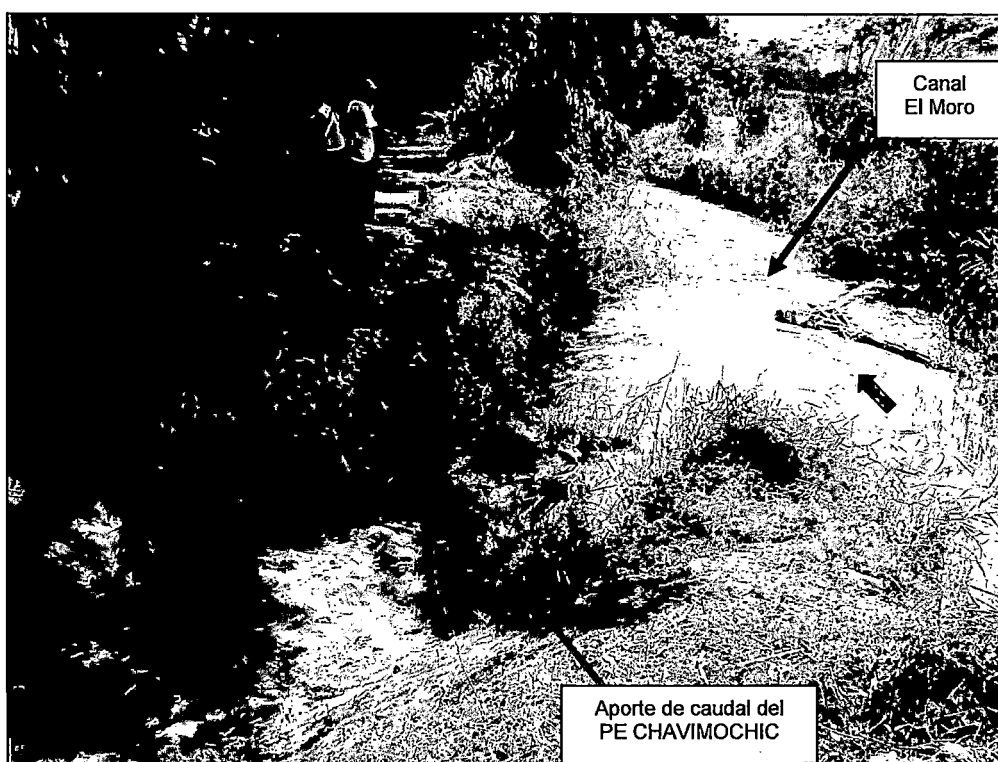


Foto 4.5 – Aporte PE CHAVIMOC en canal El Moro

#### b) Paredes del Canal

En los tramos sin revestir, entre las progresivas (0+000-1+000), las paredes del canal son de material arcilloso, de color beige claro, según la clasificación SUCS corresponde a una **arcilla de baja plasticidad (CL)**.

#### c) Sección Transversal del canal original sin revestir

La sección del canal en las progresivas (0+000-1+000), corresponde a una sección aproximadamente trapezoidal y se muestra en la Figura 4.7. Pero a

través de toda su trayectoria presenta una sección variable, la sección disminuye de tamaño a lo largo del canal como se muestra en la Foto 4.6 la sección del canal en la progresiva 12+000.

**d) Taludes promedio del canal original**

El canal presenta un talud lateral de 1V:0,6H, como se muestra en la Figura 4.6.

**e) Pendiente del canal original**

Como se muestra en el Plano N°07, la pendiente del canal en las progresivas (0+000 -1+000) es de 0,2%.

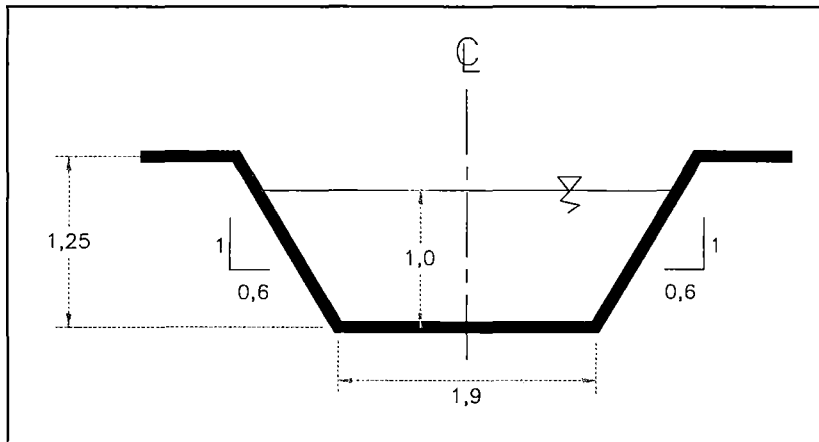


Figura 4.6 - Sección Típica Promedio del Canal original El Moro (0+000-1+000)

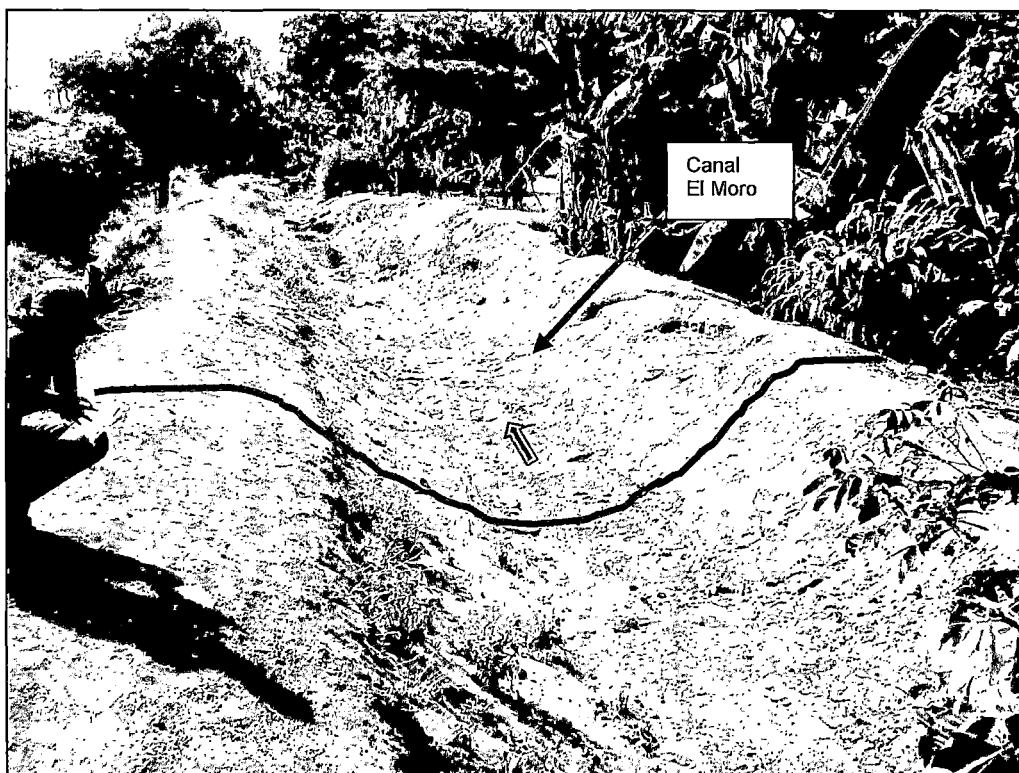


Foto 4.6 – Sección sin revestir, Canal El Moro

**f) Capacidad Hidráulica del canal original**

Para hallar la capacidad hidráulica del canal se aplica la fórmula de Manning.

Se considera un tirante ( $y$ ) de 1,0 m, El valor del coeficiente de Manning, se calculó por la fórmula de Cowan.

- Cálculo de la capacidad hidráulica:

Considerando:

$$n = 0,03$$

-

Se tiene:

$S_0$	=	0,002	Pendiente del canal
$n$	=	0,03	Coeficiente de Manning
$y$	=	1,0 m	Tirante
$b$	=	1,9 m	Base de la sección
$z$	=	0,6	Talud del canal
$A$	=	2,50 m <sup>2</sup>	Area de la sección
$P$	=	4,23 m	Perímetro mojado
$R$	=	0,59 m	Radio hidráulico

Aplicando la formula (1-5), resulta:

$$\begin{aligned}
 Q &= 2,62 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q &\approx 2,60 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Caudal de operación} \\
 V &= 1,0 \text{ m/s} \quad \text{Velocidad de operación}
 \end{aligned}$$

**g) Borde libre teórico**

El borde libre para el tirante  $y=1,0$  m, es de:

$$B.L=1/3*y \quad B.L=0,30 \text{ cm}$$

**h) Análisis de la Estabilidad del Canal Erosionable**

Se analiza la estabilidad de la sección según los conceptos de diseño de canales erosionables:

Método de la Fuerza Tractiva:

Para hallar la fuerza tractiva en el fondo del canal se utiliza la fórmula (1-8):

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Peso específico del fluido} \\
 S_0 &= 0,002 \quad \text{Pendiente del canal} \\
 R &= 0,59 \text{ m} \quad \text{Radio hidráulico} \\
 \tau_0 &= 1,02 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Esfuerzo cortante}
 \end{aligned}$$

Para hallar el esfuerzo cortante crítico ( $\tau_c$ ) se utilizó la Figura 1.2, en donde se ingresa con el valor de la relación de vacíos del material (e).

$$\begin{aligned}
 \gamma_s &= 1650 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Peso específico del material de fondo (arcilla)} \\
 G_s &= 2,69 \quad \text{Gravedad específica de los solidos} \\
 \gamma &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Peso específico del fluido} \\
 e &= 0,63 \quad \text{Relación de vacíos}
 \end{aligned}$$

De la Figura 1.2, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \tau_c &= 1,1 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Esfuerzo cortante crítico} \\
 &\quad \text{(Suelos pesados en arcillas)}
 \end{aligned}$$

De los cálculos anteriores, resulta que el esfuerzo cortante es menor que el esfuerzo cortante crítico, por lo tanto no se produciría arrastre de material en el fondo del canal.

## **4.2 ESTUDIO DE EL ACUEDUCTO DE ASCOPE**

Este acueducto forma parte de un canal de irrigación prehispánico, llamado actualmente San Antonio, el cual se encuentra en abandono. Para estudiar las características hidráulicas y constructivas del acueducto se utilizó principalmente información recopilada en campo y luego se procedió a procesar la información en gabinete.

### **4.2.1 Información General**

#### **a) Antecedentes**

En el Valle de Chicama existe un sistema de irrigación prehispánico conocido actualmente como "La Laguna", conformado por el Canal San Antonio y el Embalse San Bartolo. El Canal San Antonio captaba las aguas de la margen derecha del Río Chicama, y fue construido con el propósito de irrigar las tierras que actualmente forma parte de San José Alto, Bajo y Paján; tiene aproximadamente 36 km de longitud, de los cuales la mayor parte de su

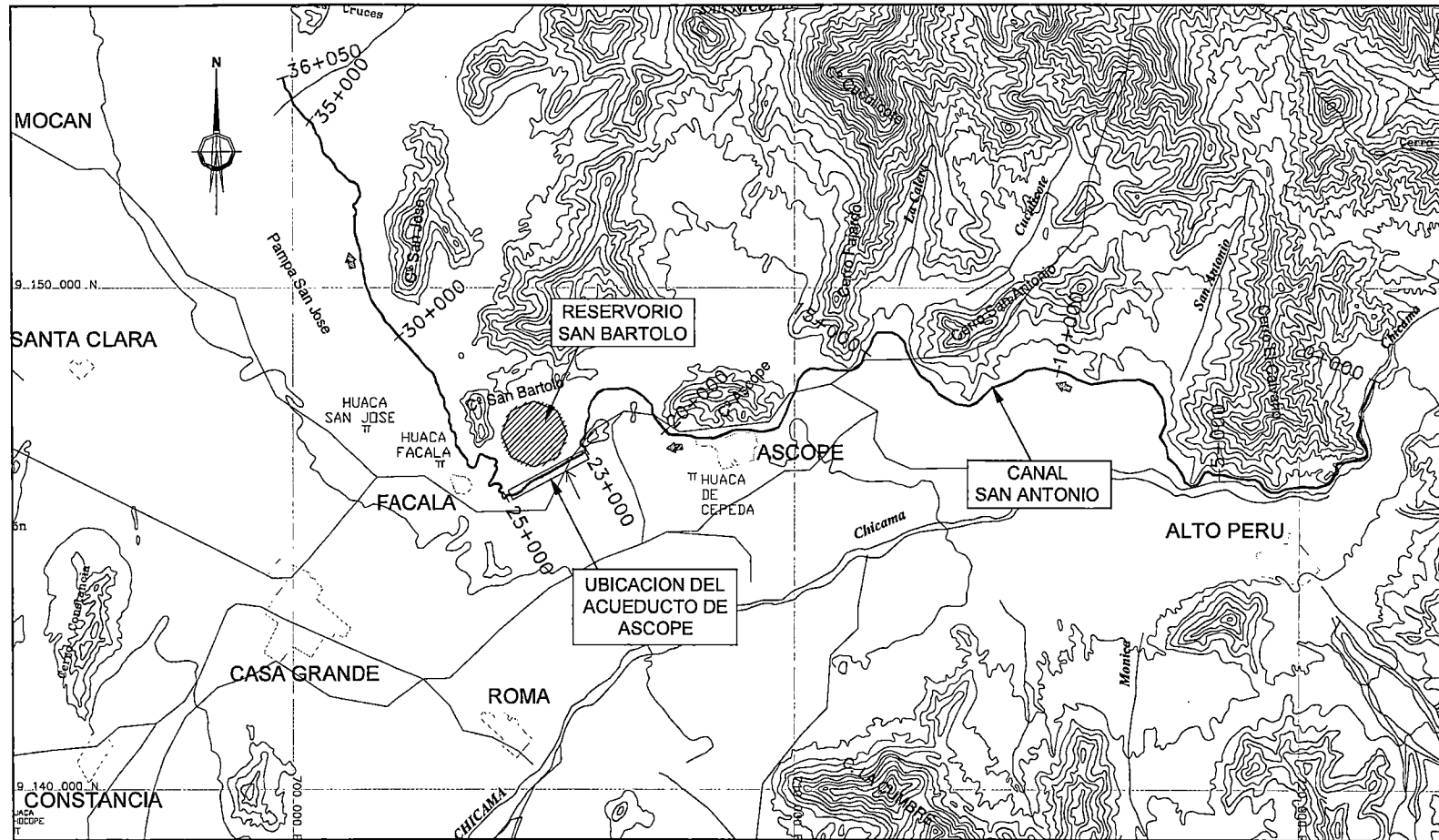


Figura 4.7 - Sistema de Irrigación La Laguna

trayectoria ha sido construido sobre material de relleno, a media ladera, o en algunos casos sobre terraplenes.

El Acueducto de Ascope se ubica en el km 23 del Canal San Antonio (Figura 4.8) y tiene una longitud de 1,3 km, el cual a su vez sirve de dique de contención del denominado "Embalse San Bartolo", que según cuentan los pobladores servía para irrigar las tierras en épocas de sequía.

**b) Ubicación del Acueducto**

El Acueducto de Ascope se encuentra ubicado en la cuenca del Río Chicama; geográficamente se encuentra entre 7°42'55" y 7°43'17" Latitud Sur y 79° 08'02" y 79°08'40" Longitud Oeste. Políticamente está ubicado en el Departamento de La Libertad, Provincia de Ascope y Distrito de Ascope.

**c) Acceso**

Desde la ciudad de Trujillo se accede a través de la ruta nacional 010A (carretera asfaltada) que conecta los principales distritos del norte de Trujillo (Chicama, Chócope, Casa Grande, Roma y Ascope). El Distrito de Ascope se encuentra a 63 km de distancia desde la ciudad de Trujillo, a 2 horas de viaje en transporte público. La Tabla 4.5, muestra a detalle las distancias a la zona de estudio desde Lima y Trujillo.

Tabla 4.5 - Distancias a la zona de Estudio

De	A	Tiempo	Vía	Vehículo
Lima	Trujillo	8 hrs	Carretera Asfaltada	Ómnibus
Trujillo	Ascope	2 hrs	Carretera Asfaltada	Combis
Ascope	Canal Acueducto	15 min	Trocha carrozable	Mototaxi

Elaboración Propia

**d) Climatología**

El Valle de Chicama tiene un clima subtropical desértico, la temperatura varía desde el semicálido (20.8°C) en el sector del valle agrícola de la costa al frío (6°C, aproximadamente) en el sector andino por encima de los 4 000 msnm. La humedad relativa en el sector del valle agrícola de costa es de 81% (Cartavio), 78% (Casa Grande) y en el sector de ceja de costa es de 73% (Cascas). La dirección predominante del viento es S y SE, se tratan de vientos básicamente provenientes del mar con velocidades medias del orden de los 8 a 14 km/h para vientos provenientes del Sur y 6 a 14 km/h para los del Sureste. En cuanto a las precipitaciones, según se observa en la Tabla 4.6, la precipitación anual

promedio en la estación Casa Grande (1934-2002) es de 22,01 mm la mínima de 5,5 mm, sin embargo, existen años con eventos extraordinarios (Fenómeno de El Niño), en el que la precipitación anual llega a 200,6 mm, casi 9 veces en promedio.

#### **4.2.2 Estudios Realizados**

Con la finalidad de estudiar las características hidráulicas, el procedimiento constructivo y otros aspectos relacionados a la construcción del Acueducto de Ascope, se realizaron las siguientes actividades de recolección de información de campo del acueducto:

- Levantamiento topográfico
- Levantamiento de la sección hidráulica del canal
- Toma de muestra de suelos

Además, se revisó la información existente sobre el acueducto y las investigaciones arqueológicas realizadas en el acueducto.

##### **a) Revisión de la Información Histórica**

De la información revisada, las siguientes investigaciones arqueológicas indican algunas características del Acueducto:

- En el "II Congreso Peruano del Hombre y la Cultura Andina" (1974), en el cual se describe al acueducto como un dique de contención de la Represa Mochica de Ascope, indican también que existió un proyecto para rehabilitar la represa y el Canal San Antonio con la finalidad de irrigar más de 2000 Ha de tierras, tanto en San José Bajo y Alto, como en Paján.
- En la investigación desarrollada por Hoyle (1966) en su libro "Los Mochicas", describe las siguientes características: longitud del acueducto de 1400 m; 5,66% de pendiente y secciones transversales muy irregulares. Volumen de material utilizado en su construcción 785 400 m<sup>3</sup>, y además indica que el cuerpo del terraplén está constituido por un corazón compacto arcilloso y revestido de tierra. Velocidad del flujo en el canal de 1,25 m/s; caudal 7,5 m<sup>3</sup>/s.

##### **b) Revisión de la Información Cartográfica**

El Canal San Antonio se ubica íntegramente en la Carta Nacional 16-E del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Escala 1:100 000.





### **c) Inspección de Campo**

Se realizaron dos visitas de campo para recopilar información del acueducto; la primera visita consistió en ubicar y realizar el reconocimiento en campo del acueducto, se realizó el recorrido de todo el acueducto (1,36 km) hasta un tramo de 350 m aguas abajo y se levantó información geográfica con un equipo GPS navegador; en la segunda visita se realizó el levantamiento topográfico del canal-acueducto con un equipo de estación total y el levantamiento de información de las secciones transversales del canal a cada 10 m aproximadamente, con eclímetro y wincha. Finalmente, se tomaron muestras del material que conforma el relleno del terraplén y de material que recubre el canal.

#### Canal Más Antiguo

Es importante mencionar que en la inspección de campo se encontró otro canal prehispánico, el cual fue construido cerca al acueducto de Ascope, bordeando la media ladera (Foto 4.7). Se presume que este canal es más antiguo que el Acueducto, debido a que se encuentra severamente erosionado y es probable que los mochicas o chimús al no poder controlar los deslizamientos e inestabilidades en las pequeñas quebradas optaran por construir el Acueducto como alternativa para cruzar esta zona, este análisis es un supuesto que podría justificar la construcción del Acueducto de Ascope.

El canal antiguo construido a media ladera sobre un terraplén mixto ha sido severamente erosionado en los tramos de cruces de quebrada y en general a todo lo largo del talud exterior del terraplén (Foto 4.8). El procedimiento constructivo del terraplén es en base a adobitos colocados en forma piramidal tal como se muestra en la Foto 4.9; este procedimiento es diferente al que se utilizó en el Acueducto de Ascope el cual está construido a base de capas intercaladas de diferentes tipos de arcilla (Foto 4.21). La diferencia entre los procedimientos constructivos mencionados, sugiere que fueron desarrollando diferentes técnicas y procedimientos con el objetivo de mejorar sus estructuras.

#### Embalse

Según se indica en algunas crónicas y según el testimonio de algunos pobladores, el terraplén también sirvió de barraje (tipo presa) al embalse que formaba esta estructura con la ladera del cerro (Foto 4.7). Esta suposición se discute más adelante.

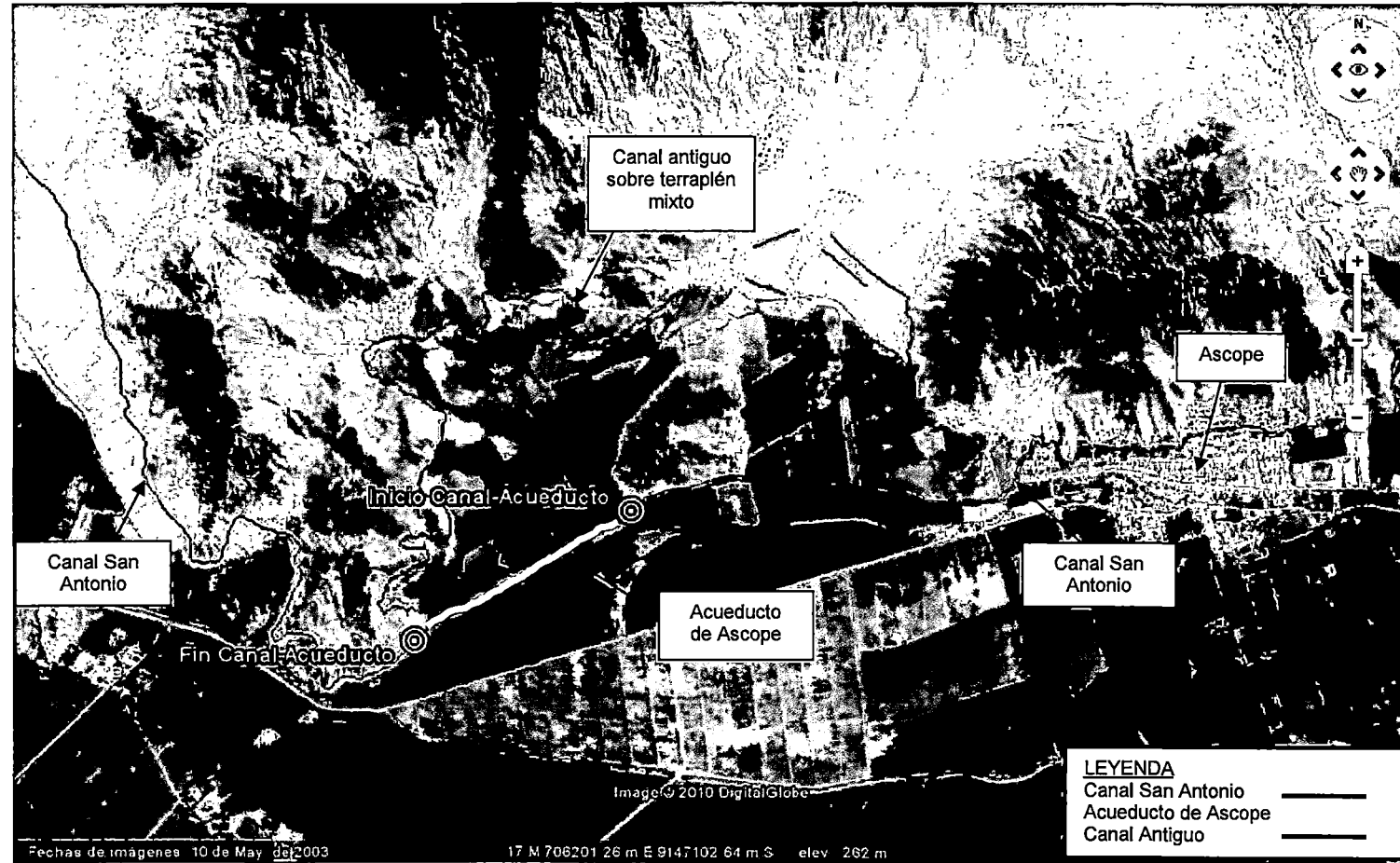


Foto 4.7 – Foto satelital donde se observa el Acueducto de Ascope y el Antiguo Canal que bordea los cerros

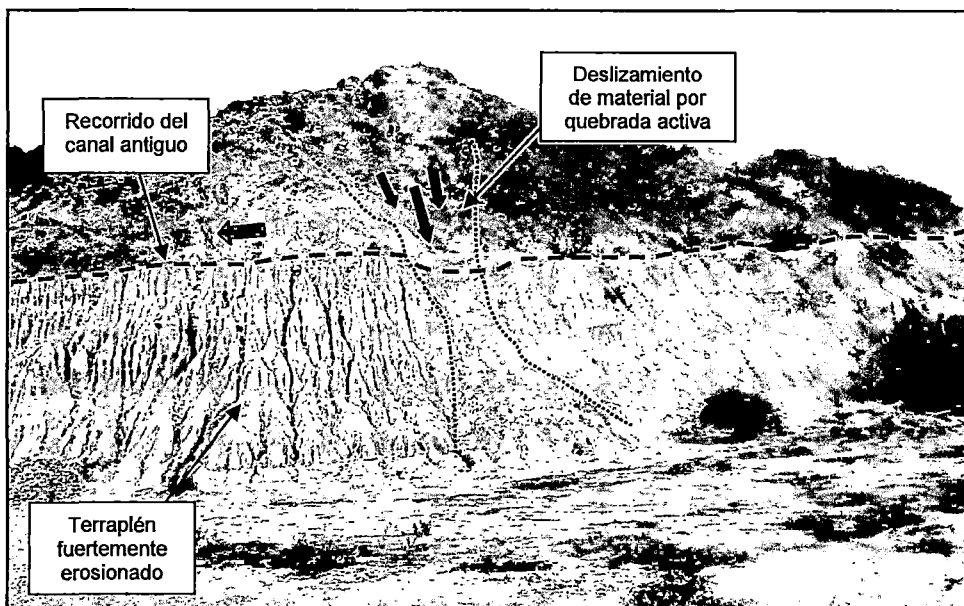


Foto 4.8 - Canal Antiguo afectado por la geodinámica de las quebradas que la cruzan

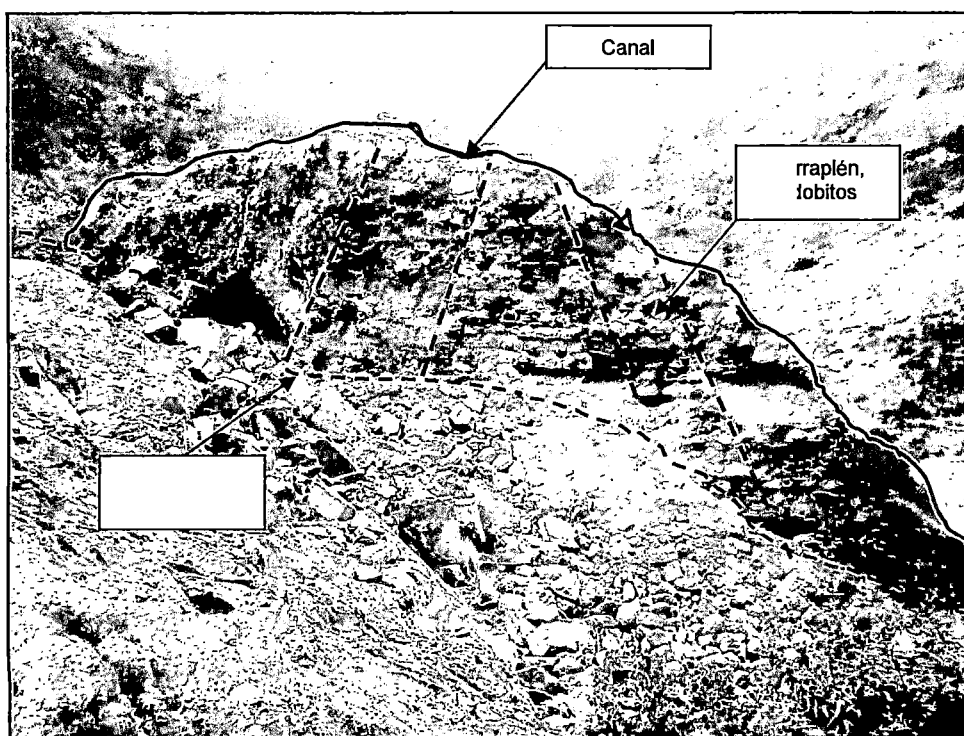


Foto 4.9 - Sección Transversal de Canal Antiguo cercano al Acueducto de Ascope

**d) Topografía**

Se realizó el levantamiento topográfico de 1,36 km del Acueducto de Ascope para lo cual se utilizaron los siguientes equipos: una estación total, dos miras, un GPS, un eclímetro y dos radios.

La poligonal topográfica alrededor del acueducto está conformada por 20 puntos de apoyo (A - T) que se muestran en el Plano N°10, y se tomó alrededor de 1100 puntos para el levantamiento de la superficie del acueducto, para luego procesar esta información utilizando el programa Autocad Civil3D-2009 de Autodesk.

En el Plano N°10 se muestra la planta y perfil y en el Plano N°11 las secciones transversales del acueducto.

**e) Hidrología**

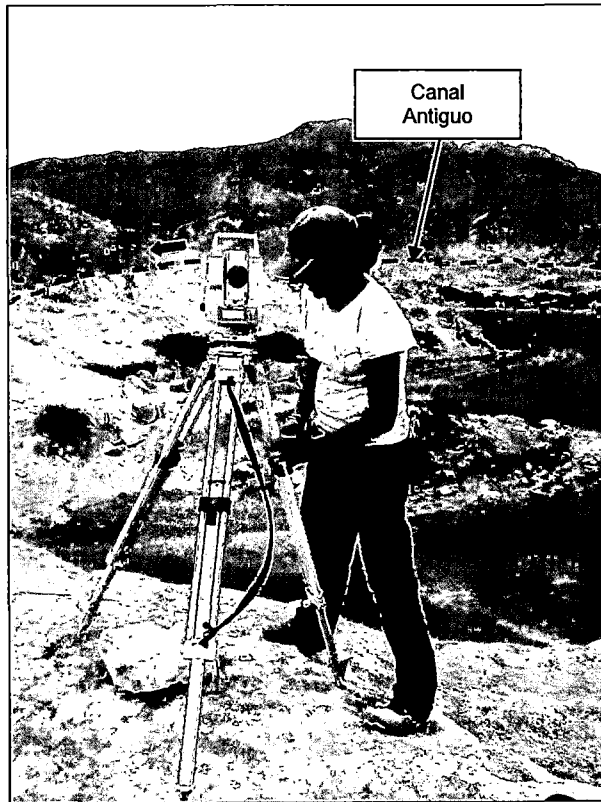
Se presenta el registro de caudales del río Chicama a la altura de la bocatoma del canal San Antonio. Estos caudales corresponden a la estación hidrométrica Salinar en el periodo de registro 1920-2003, los valores se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.7 - Estación Hidrométrica Salinar

Estación	Altitud m.s.n.m	Este	Norte	Periodo de Registro
Salinar	350	724315	9152012	1920-2003

Elaboración Propia

La estación Salinar se encuentra en el cauce del río Chicama a 6,8 km aguas arriba de la ubicación de la bocatoma del antiguo canal San Antonio, Figura 4.8. El área de drenaje de la estación es de 3 665,15 km<sup>2</sup>, el área de drenaje hasta el punto de ubicación de la bocatoma del Canal San Antonio le corresponde un área de cuenca de 3 712,63 km<sup>2</sup>.



Fotos 4.10 y 4.11 - Levantamiento Topográfico del Acueducto utilizando un equipo de Estación Total

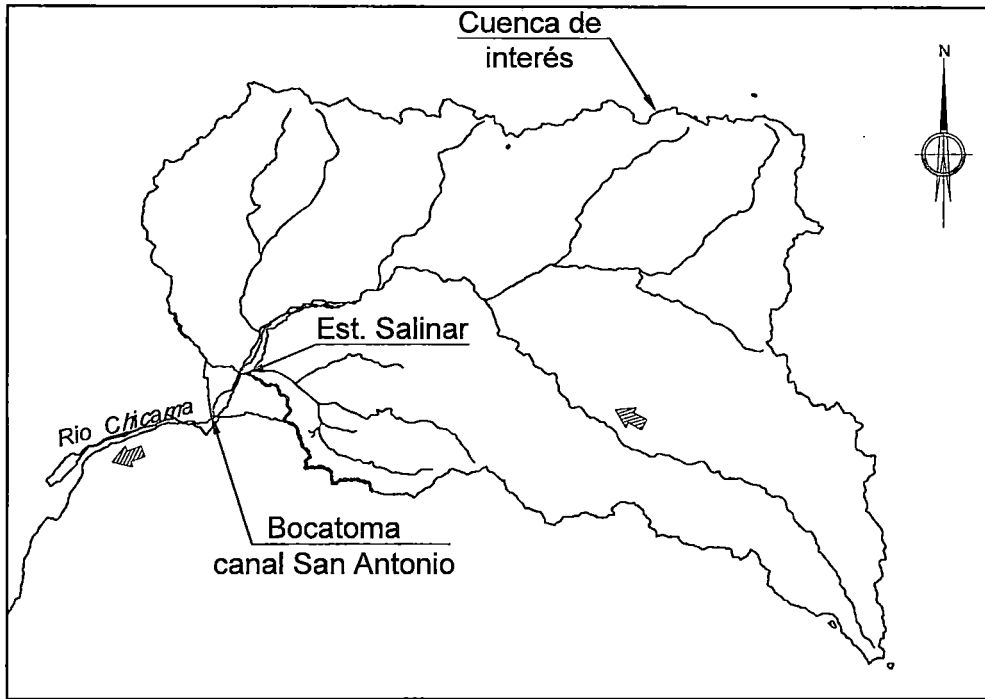


Figura 4.8 - Cuenca del Río Chicama desde la Bocatoma del Canal San Antonio

El **hidrograma** de la Estación Salinar se muestra en la Figura 4.9, donde se observa que los meses de Enero-Mayo corresponden a los meses húmedos y los meses de Junio-Diciembre corresponden a los meses de estiaje, de esta información se obtiene lo siguiente: promedio de meses húmedos  $55,48 \text{ m}^3/\text{s}$  y promedio de los meses de estiaje  $6,38 \text{ m}^3/\text{s}$ .

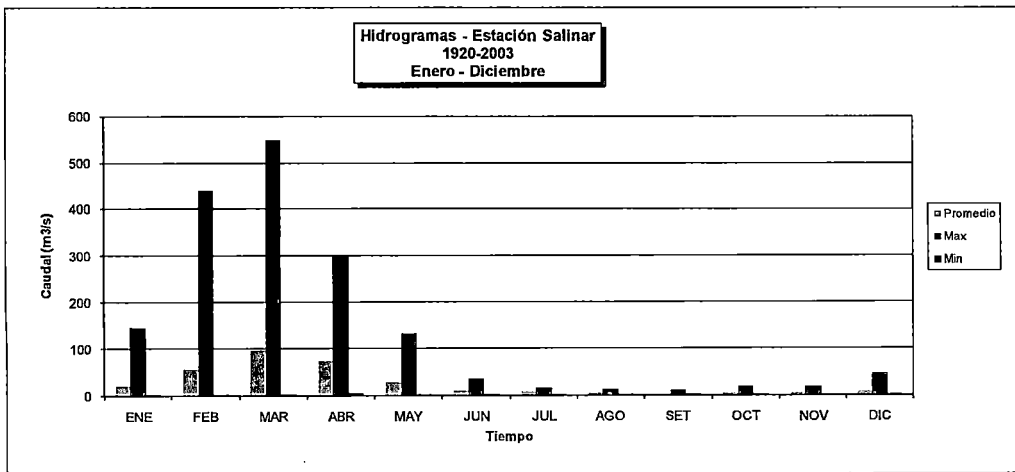


Figura 4.9 - Hidrograma Estación Salinar





### 4.2.3 Análisis Hidráulico del Canal

#### a) Situación Actual

El terraplén se encuentra en proceso de erosión, ya que está expuesto a los procesos de geodinámica externa como: la lluvia, el viento y los cambios de temperatura, otro factor que ha contribuido en la destrucción del terraplén es que los pobladores utilizan la parte superior éste como camino para acceder a las tierras de cultivo de la zona. Los daños consisten principalmente en surcos laterales a lo largo de todo el terraplén causados por la escorrentía superficial en épocas de lluvia, también se presenta cárcavas en los taludes laterales externos del terraplén y en la base del canal, tal como se observa en la Foto 4.12 y en la Foto 4.13; estas cárcavas son producidas por la infiltración de agua a través de zonas permeables que va erosionando la superficie, y en la base del canal producido probablemente por las velocidades altas de flujo. Se presume que en la época de operación de este canal haya sufrido problemas de infiltración.



Foto 4.12 - Acueducto de Ascope  
Cárcava en Talud exterior del Terraplén

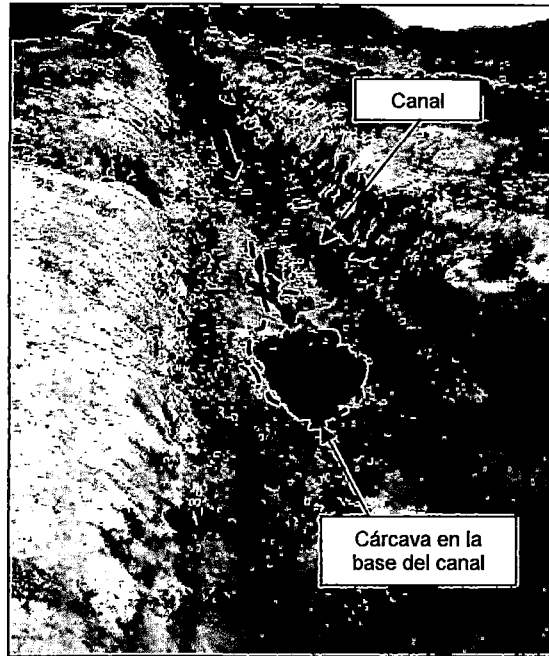


Foto 4.13 - Acueducto de Ascope  
Cárcava producida en la base del Canal

A la altura de la progresiva 0+190 del Acueducto se ubica la cota más baja del embalse San Bartolo (Foto 4.14), esta zona se encuentra fuertemente erosionada debido a problemas de infiltración. No se encontraron indicios de alguna estructura de descarga o alivio de este embalse, lo que sugiere que no fue proyectado.

En la progresiva 0+810 se ubica el forado más grande de todo el acueducto de 30 m de diámetro aproximadamente, tal como se observa en la Foto 4.15, según manifiesto de los pobladores este forado fue realizado intencionalmente con el objetivo de drenar las aguas embalsadas y para aprovechar el terreno agrícola.

#### b) Revestimiento del Canal

La muestra M-1 (Foto 4.22) representa el material de revestimiento del canal, según las pruebas de laboratorio esta muestra es un material fino, muy denso, de color pardo amarillento, que según la clasificación SUCS ASTM-D2487 corresponde a **arcilla limo arenosa de baja plasticidad**.



Foto 4.14 - Probable Ubicación de la Descarga del Embalse San Bartolo

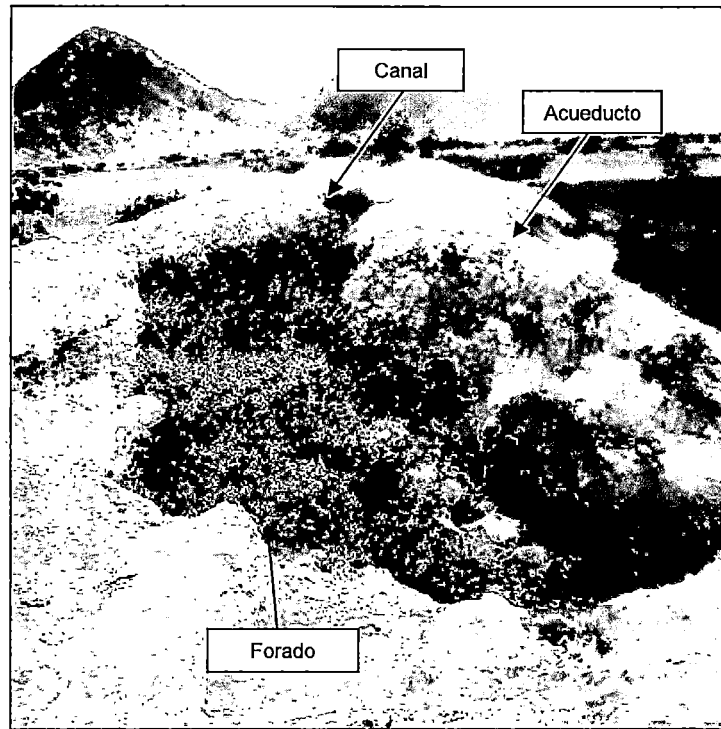


Foto 4.15 – Acueducto de Ascope  
Forado de 30 m de diámetro en el Terraplén

### c) Sección Transversal del Canal

El canal presenta variación en la geometría de sus secciones transversales a lo largo de toda su longitud en las progresivas (0+000 - 1+360), a consecuencia de la erosión a la que está expuesta y a variaciones propias de diseño. Para los cálculos hidráulicos del canal, se hace necesario definir una sección típica que represente a todo el tramo en estudio. Para obtener las secciones típicas se dividió el canal en cinco tramos, obteniéndose cinco secciones representativas de cada tramo T1, T2, T3, T4 y T5, las que se muestran en las Fotos 4.16 - 4.20, Figura 4.10 y Plano N°12.

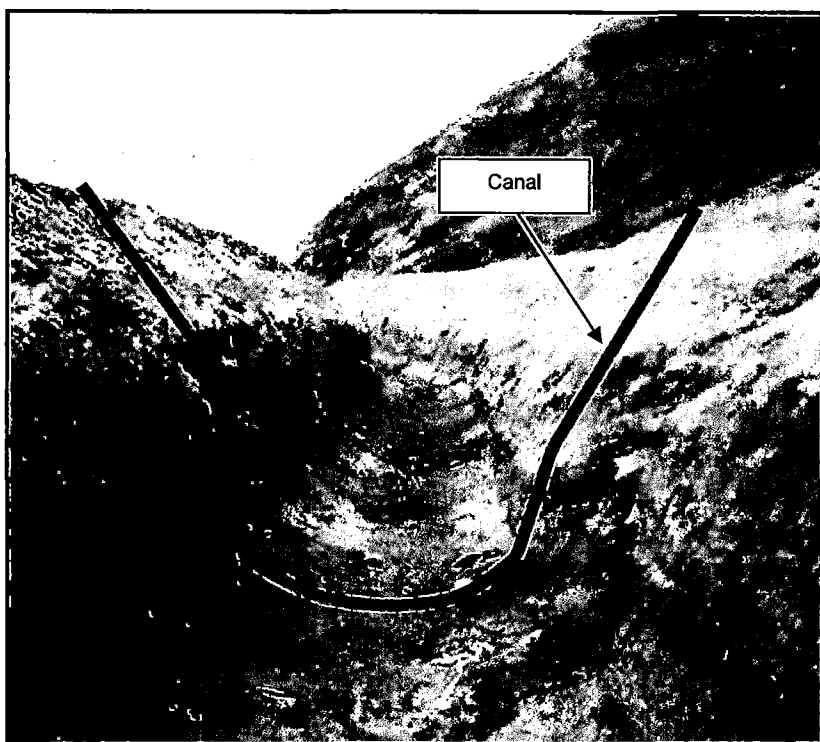


Foto 4.16 – Acueducto de Ascope  
Sección Transversal del Canal, T1 (0+000 - 0+220)

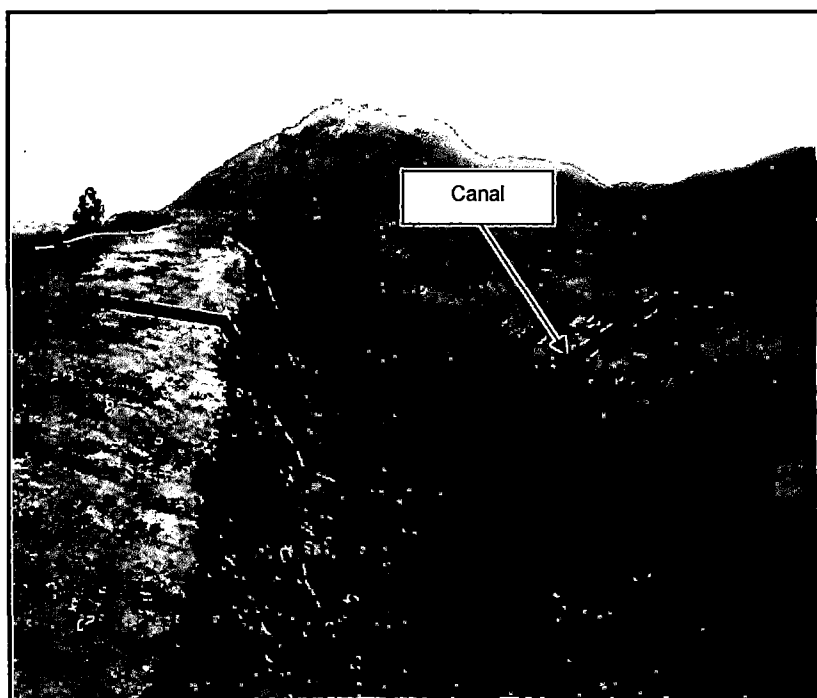


Foto 4.17 – Acueducto de Ascope  
Sección Transversal del Canal, T2 (0+220 - 0+420)

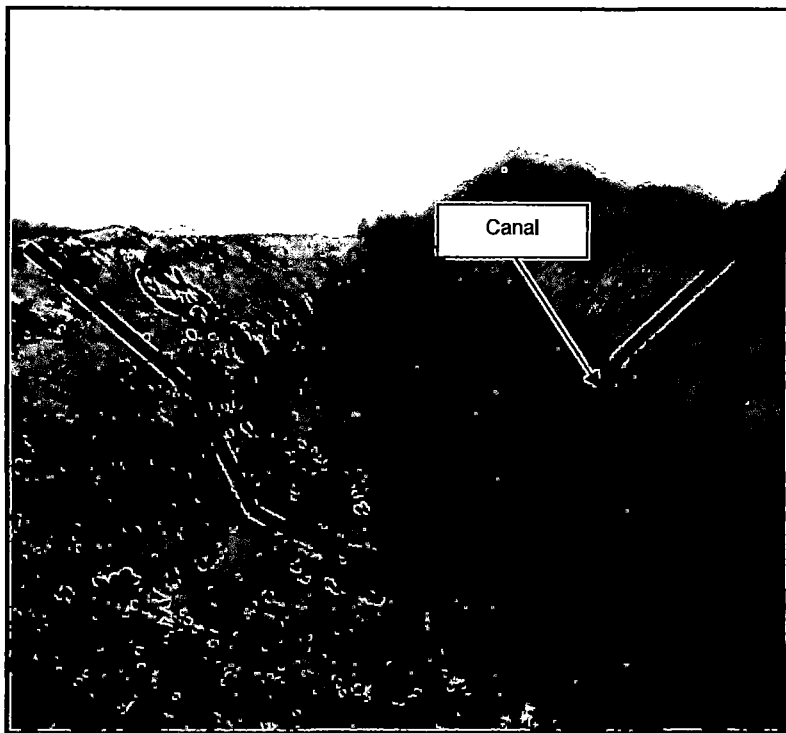


Foto 4.18 – Acueducto de Ascope  
Sección Transversal del Canal, T3 (0+420 - 0+790)

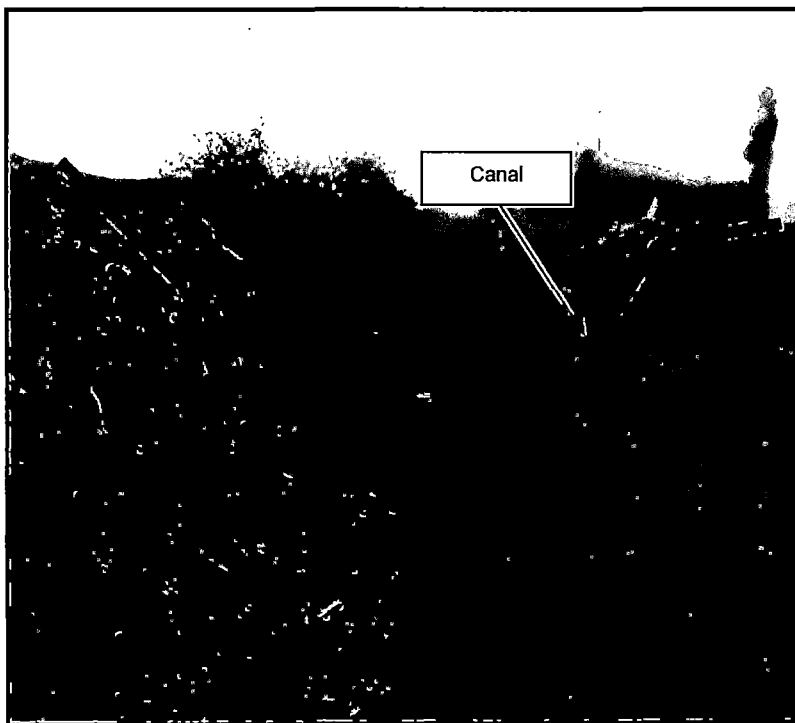


Foto 4.19 – Acueducto de Ascope  
Sección Transversal del Canal, T4 (0+790 - 1+090)

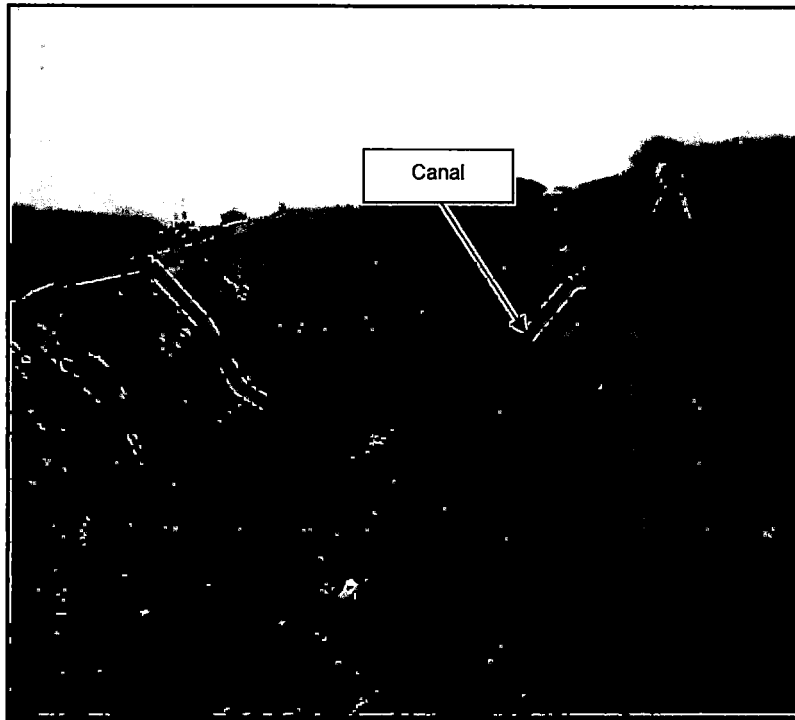


Foto 4.20 – Acueducto de Ascope  
Sección Transversal del Canal, T5 (1+090 - 1+260)

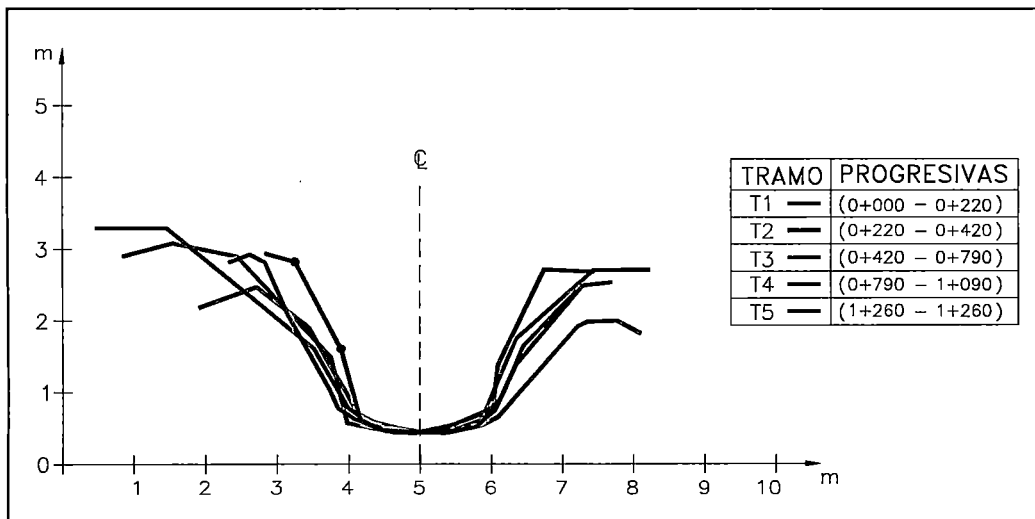


Figura 4.10 – Variación de la Sección Transversal a lo largo del Acueducto

Luego, para cada sección se calcularon las pendientes y longitud del talud derecho e izquierdo como se muestra en la Tabla 4.10, con los promedios de estos valores se definió la sección T0, como se muestra en la Figura 4.11.

Tabla 4.9 – Taludes laterales del Canal

Sección	Progresiva	Talud Izquierdo (z1)		Talud Derecho (z2)					
		Inferior		Superior		Inferior		Superior	
		V:	H	V:	H	V:	H	V:	H
T1	0+000 - 0+220	1:	0,58	1:	1,23	1:	0,43	1:	1,15
T2	0+220 - 0+420	1:	0,25	1:	0,94	1:	0,11	1:	0,49
T3	0+420 - 0+790	1:	0,27	1:	0,53	1:	1,45	1:	0,85
T4	0+790 - 1+090	1:	0,51	1:	0,51	1:	0,43	1:	0,98
T5	1+090 - 1+260	1:	0,56	1:	1,30	1:	0,89	1:	0,89
<b>T0</b>	<b>0+000 - 1+260</b>	<b>1:</b>	<b>0,4</b>	<b>1:</b>	<b>0,8</b>	<b>1:</b>	<b>0,3</b>	<b>1:</b>	<b>0,8</b>
<b>Long. (m)</b>			<b>1,09</b>		<b>1,60</b>		<b>0,81</b>		<b>1,26</b>

Elaboración Propia

Perfilando la sección transversal de la Figura 4.11, se obtiene una sección trapezoidal compuesta T0' simétrica respecto al eje del canal, tal como se muestra en la Figura 4.14.

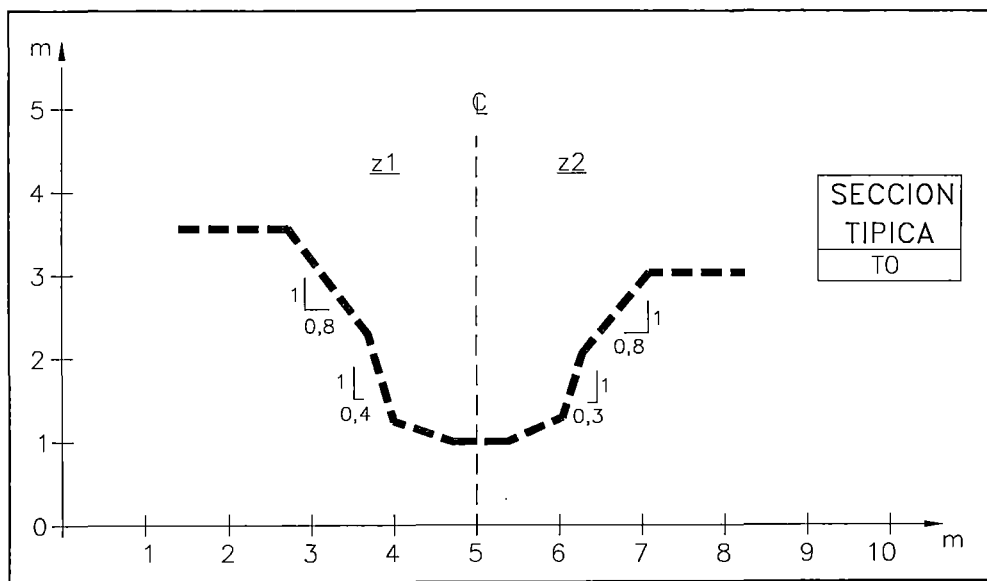


Figura 4.11 - Sección Típica Promedio del Canal-Acueducto, Sección T0



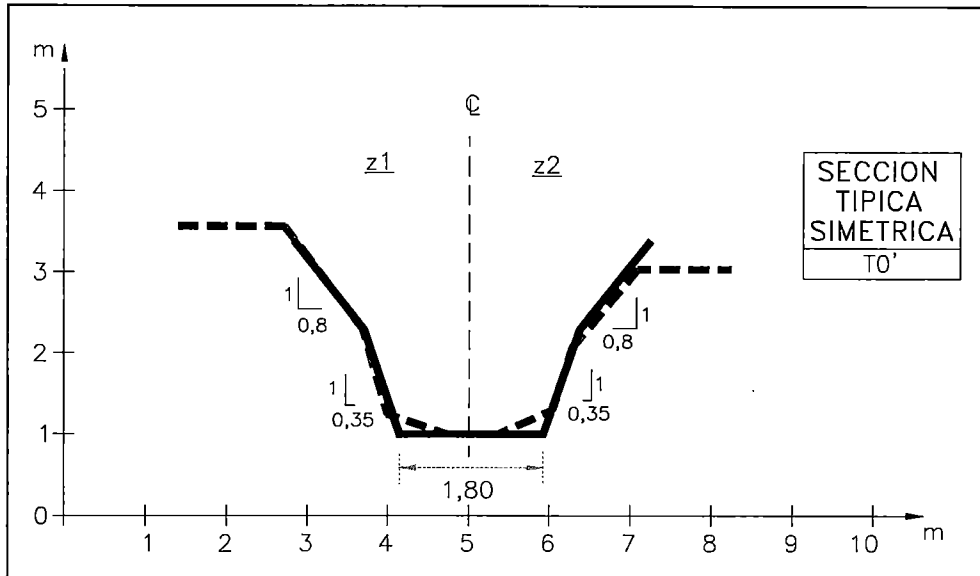


Figura 4.12 - Sección Típica Simétrica del Canal-Acueducto, Sección T0'

#### d) Talud del Canal

Tal como se muestra en el ítem anterior (Figura 4.12) la sección del canal corresponde a un trapecio compuesto; en la Foto 4.21 se muestra la marca de agua antigua en el talud izquierdo del canal, lo cual nos servirá para el cálculo aproximado del caudal de conducción.

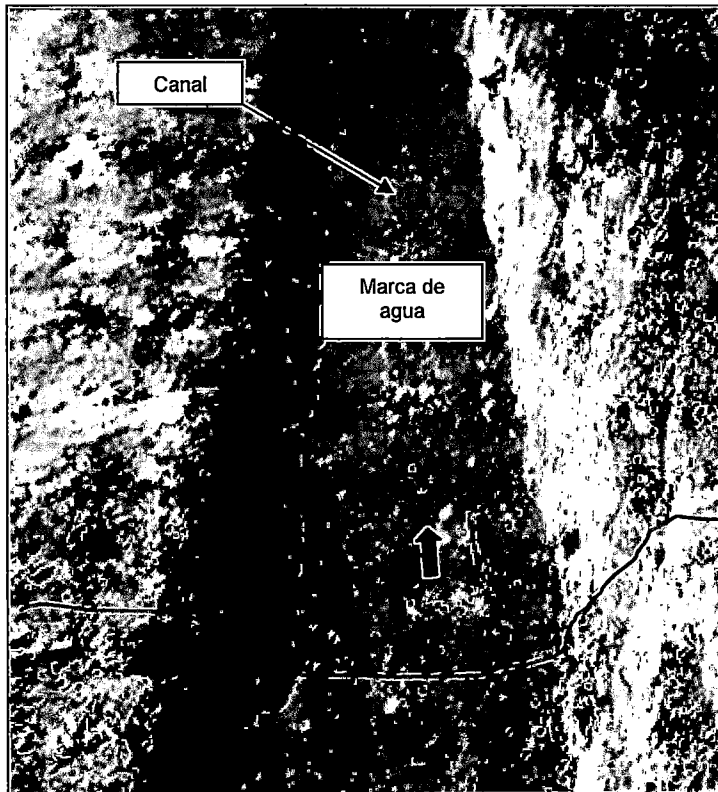


Foto 4.21 - Marcas de agua en la Sección del Canal

**e) Pendiente del Canal**

Para calcular una pendiente ponderada del canal, se consideran las pendientes de los tramos representativos T1, T2, T3, T4 y T5; obteniéndose una pendiente de 0,21 % como se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 - Pendiente ponderada del Canal-Acueducto

Sección	Progresiva	Pendiente (%)
T1	0+000 - 0+220	0,11
T2	0+220 - 0+420	0,03
T3	0+420 - 0+790	0,26
T4	0+790 - 1+090	0,35
T5	1+090 - 1+260	1,38*
<b>Pendiente Ponderada</b>	0+000 - 1+260	0,21

\*Valor descartado  
Elaboración Propia

**f) Capacidad Hidráulica del Canal**

Para hallar la capacidad hidráulica del canal se aplica la fórmula de Manning, considerando un tirante ( $y$ ) de 1,10 m; este valor ha sido obtenido según las huellas de la marca de agua en el canal existente (Foto 4.21). El valor del coeficiente de Manning, se calculó por la fórmula de Cowan.

- Cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning :

Se tiene:

$$n_0 = 0,02$$

$$n_1 = 0,005$$

$$n_2 = 0$$

$$n_3 = 0$$

$$n_4 = 0,005$$

$$m_5 = 1$$

(Valores característicos del canal San Antonio para el cálculo del coeficiente de Manning, Tabla 1.1)

Aplicando la fórmula (1-6), se tiene:

$$n = 0,03 \quad \text{Valor de coeficiente de Manning adoptado para el canal San Antonio}$$

- Cálculo de la capacidad hidráulica:

$S_0$	=	0,0021	Pendiente del canal
$n$	=	0,03	Coefficiente de Manning
$y$	=	1,1 m	Tirante
$b$	=	1,8 m	Base de la sección
$z$	=	0,35	Talud del canal
$A$	=	2,40 m <sup>2</sup>	Area de la sección
$P$	=	4,13 m	Perímetro mojado
$R$	=	0,58 m	Radio hidráulico

Aplicando la formula (1-5), resulta:

$Q$	=	2,56 m <sup>3</sup> /s	
$Q$	≈	2,50 m <sup>3</sup> /s	Caudal de operación
$V$	=	1,06 m/s	Velocidad de operación

De los cálculos anteriores, resulta que la velocidad de operación del canal es menor a la velocidad máxima permisible de 1,52 m/s recomendada por Fortier y Scobey (1926) (Tabla 1.2), por lo tanto la velocidad del canal no causaba erosión en los contornos del canal.

**g) Borde libre teórico**

El borde libre para el tirante  $y=1,10$  m, sería de:

$B.L=1/3*y$

$B.L=0,37$  m

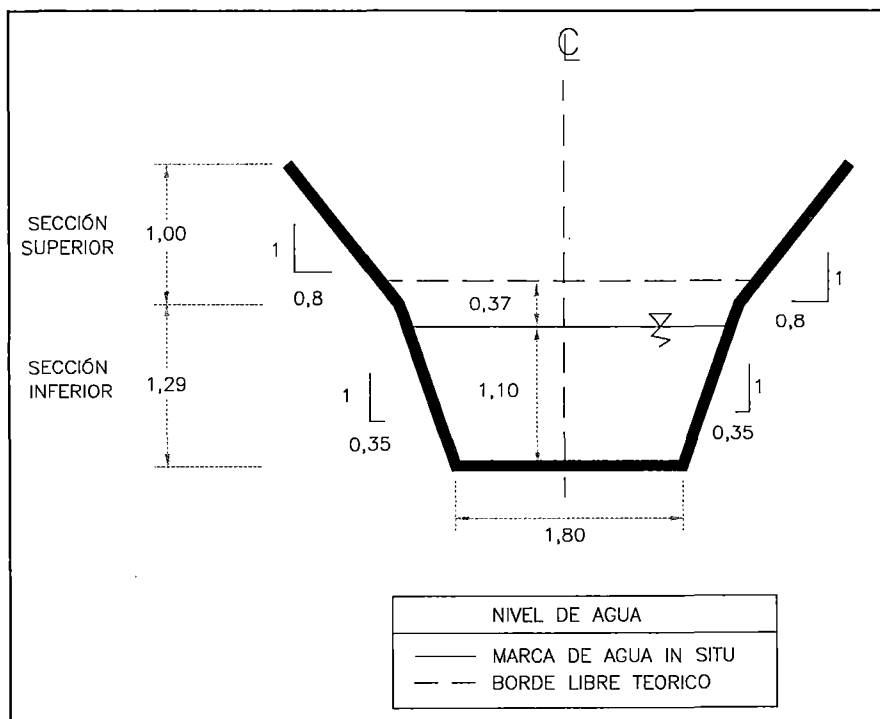


Figura 4.13 - Sección Perfilada del Canal-Acueducto, Sección T0'

**h) Análisis de la Estabilidad del Canal Erosionable**

Se analiza si la sección es estable según los conceptos de diseño de canales erosionables:

Método de la velocidad permisible:

$$\begin{aligned}\gamma_s &= 1700 \text{ Kg/m}^3 && \text{Peso específico del material de fondo} \\ &\approx 1,7 \text{ Tn /m}^3 && \text{(arcilla compacta)}\end{aligned}$$

$$y = 1,1 \text{ m} \quad \text{Tirante}$$

De la Tabla 1.3, se obtiene:

$$\text{Vad.} = 1,2 \text{ m/s} \quad \text{Velocidad admisible}$$

De los cálculos anteriores, resulta que la velocidad admisible es mayor a la velocidad de operación del canal, por lo tanto la velocidad del canal no causaba erosión en los contornos del canal.

Método de la Fuerza Tractiva:

Para hallar la fuerza tractiva en el fondo del canal se utiliza la fórmula (1-8):

$$\begin{aligned}\gamma &= 1000 \text{ Kg/m}^3 && \text{Peso específico del fluido} \\ S_0 &= 0,0021 && \text{Pendiente del canal} \\ R &= 0,58 \text{ m} && \text{Radio hidráulico}\end{aligned}$$

$$\tau_0 = 1,22 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Esfuerzo cortante}$$

Para hallar el esfuerzo cortante crítico ( $\tau_c$ ) se utilizó la Figura 1.2, en donde se ingresa con el valor de la relación de vacíos del material (e).

$$\begin{aligned}\gamma_s &= 1700 \text{ Kg/m}^3 && \text{Peso específico del material de fondo} \\ &&& \text{(arcilla compacta)} \\ G_s &= 2,69 && \text{Gravedad específica de los sólidos} \\ &&& \text{(Anexo 1)} \\ \gamma &= 1000 \text{ Kg/m}^3 && \text{Peso específico del fluido} \\ e &= 0,58 && \text{Relación de vacíos}\end{aligned}$$

De la Figura 1.2, se obtiene:

$$\tau_c = 1,3 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Esfuerzo cortante crítico} \\ \text{(Arcilla arenosa)}$$

De los cálculos anteriores, resulta que el esfuerzo cortante es menor que el esfuerzo cortante crítico, por lo tanto no se produce transporte de material en el fondo del canal.

### i) Proceso Constructivo del Terraplén

Para entender el proceso constructivo del terraplén, nos basaremos en las observaciones realizadas en un forado de gran magnitud existente en el terraplén en la progresiva 0+810 (Foto 4.15 y Foto 4.20), en donde se observa parte de la conformación del terraplén. Para determinar los tipos de suelos que conforman el terraplén se tomaron muestras in situ, se presentan los resultados en la Tabla 4.11 y los registros de los ensayos de laboratorio en el Anexo 1.

El proceso constructivo que se utilizó en la construcción del Acueducto presenta las siguientes características:

- La zona central del terraplén está construida por dos tipos de suelo arcilloso (muestras M-2 y M-3), colocados en capas horizontales de 15 cm de espesor aproximadamente. En la Foto 4.23 se observa que las capas de arcilla conforman el cuerpo del terraplén.
- La zona externa del terraplén y del canal lo conforma un material de arcilla limo arenoso, muestra M-1.
- Las capas de arcilla se encuentran compactadas (relleno controlado) y presentan rajaduras y grietas (probablemente por pérdida de humedad).
- Las muestras de suelos (M-1, M-2 y M-3) corresponden a materiales homogéneos y no presentan restos orgánicos.

Se elaboró el Plano N°09, donde se muestra un esquema de la probable conformación del terraplén.

Tabla 4.11 - Clasificación de las Muestras de Suelo del Terraplén

Muestra	Color	Clasificación S.U.C.S.	Clasificación AASHTO	
				IG
M-1	Pardo amarillento	CL-ML	A-4	5
M-2	Grisaceo	CL	A-6	16
M-3	Pardo amarillento	CL	A-7-6	20

IG: Índice de grupo

CL-ML: Arcilla limo arenoso de baja plasticidad

CL: Arcilla de baja plasticidad

Elaboración Propia

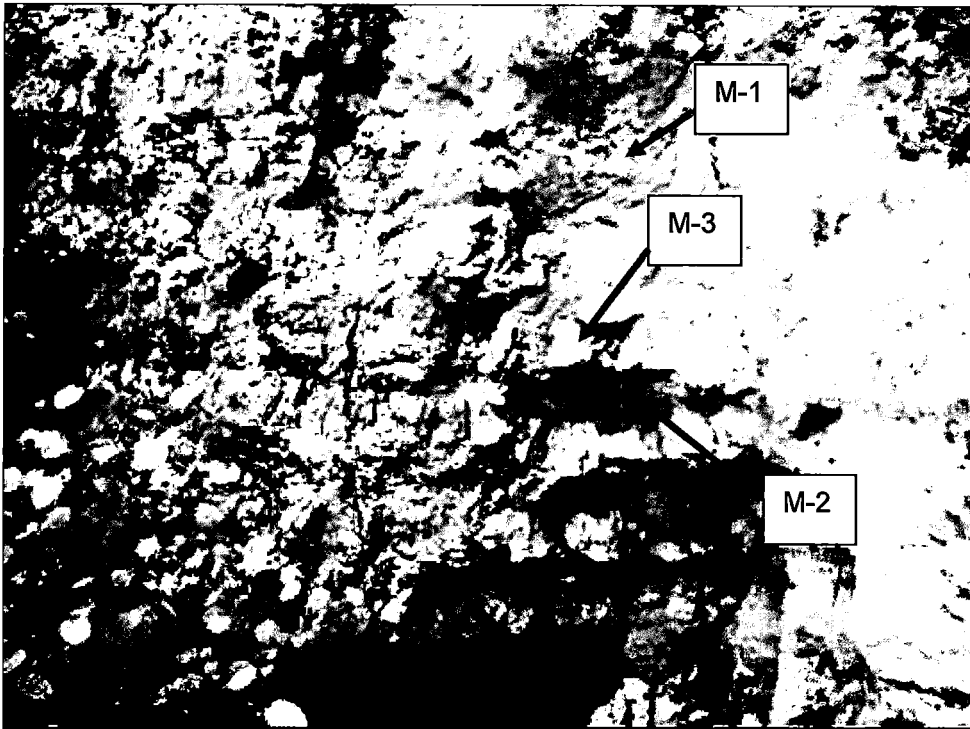


Foto 4.22- Acueducto de Ascope  
Conformación del cuerpo interno del Terraplén

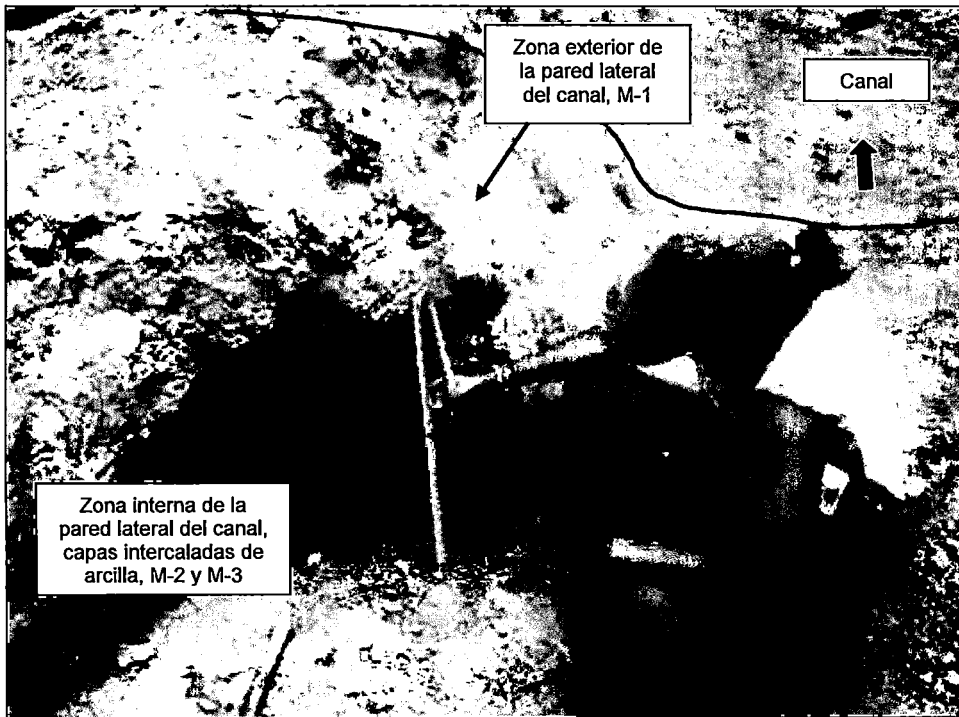


Foto 4.23 - Acueducto de Ascope  
Composición de un talud lateral del canal

**j) Metrado de material del terraplén**

El volumen aproximado del material utilizado en la construcción del terraplén se ha calculado considerando una sección transversal típica correspondiente a la sección de la progresiva 0+400 (Plano N° 11).

Se tiene:

L	≈	1360,0 m	Longitud aproximada del acueducto
A	=	303,1 m <sup>2</sup>	Area de la sección típica, progresiva 0+420

$$\boxed{VolMat. = L * A} \quad (4-1)$$

Vol. Mat.	≈	412230 m <sup>3</sup>	Volumen de material utilizado en la construcción del acueducto
-----------	---	-----------------------	--

**k) Mano de obra**

Para tener idea de la inversión de mano de obra utilizada en la construcción del terraplén (1,36 km) se ha realizado el cálculo considerando el rendimiento actual que se utiliza en la actividad Relleno Compactado, tal como se muestra en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 – Partida Relleno Compactado

Partida:	<b>RELLENO COMPACTADO</b>		
Rendimiento:	<b>25 m<sup>3</sup>/día</b>		
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>
<b>Mano de Obra</b>			
OFICIAL		HH	1,00
PEON		HH	4,00
CAPATAZ		HH	0,10
<b>Equipos</b>			
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	
COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7 HP		HM	1,00
<b>Insumos Partida</b>			
TRANS. AGUA/OBRA		M3	

Elaboración Propia

Se tiene:

Vol. Mat.	≈	412230 m <sup>3</sup>	Volumen de material utilizado en la construcción del acueducto
Rend_Cuadrilla	≈	25 m <sup>3</sup> /día	Rendimiento de una cuadrilla, Tabla 4.15
Tiempo_Const.	≈	16489 días	Tiempo construcción del terraplén con una cuadrilla

Considerando que en la construcción del terraplén participan 100 cuadrillas, se tiene;

Tiempo_Const. ≈ (100 cuadrillas)	165 días	Tiempo construcción del terraplén con 100 cuadrillas (510 trabajadores)
-------------------------------------	----------	--

### I) Uso Consuntivo del Agua

Para determinar la extensión aproximada de terreno agrícola que se irrigó con el agua del Canal San Antonio se hizo el análisis de la demanda de agua de uno de los cultivos más representativos en la época de los moches y chimúes, el maíz<sup>2</sup>. Para este cálculo se ha utilizado el software CROPWAT<sup>3</sup> para Windows, versión 4.2.

Los datos de entrada en el software CROPWAT, son los siguientes:

#### - Información meteorológica

Esta información se obtuvo de la estación meteorológica **Casa Grande**. En la Tabla 4.13 se muestran los valores medios consistentes<sup>4</sup> de: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y precipitación.

#### - Datos del suelo de cultivo

Se utilizan los datos referenciales del suelo tipo franco, que es un suelo que no se anega, ni es muy permeable y no se compacta, pero posee los nutrientes necesarios para la agricultura. La mayoría de los cultivos se desarrollan de manera adecuada en este tipo de terreno.

- Capacidad de campo (CC) = 24%
- Punto de marchites permanente (PMP) = 13%
- Densidad aparente (Da) = 1.3 gr/cm<sup>3</sup>
- Tasa de infiltración del suelo = 40 mm/día

#### - Riego

Eficiencia del sistema de riego: 70%

Frecuencia de riego: 12 días

<sup>2</sup> Larco Hoyle (1940) El maíz fue uno de los productos de mayor importancia y de más amplio cultivo para los moches, pues formó la base de su alimentación y se empleó mayormente en la elaboración de la bebida nacional: curzhio (chicha).

<sup>3</sup> Este software utiliza el método de Penman Monteith desarrollado por la División del Desarrollo de Agua de tierra de la FAO, 1992, el cual permite calcular las demandas de agua y riego de los cultivos a partir de informaciones de clima y cultivo.

<sup>4</sup> Fuente: Proyecto de Evaluación y ordenamiento de los Recursos hídricos de la Cuenca del río Chicama-Sistemas de Riego; INRENA; 2003.



Tabla 4.13 - Estación Meteorológica Casa Grande

Ubicación: Latitud 08°S  
Longitud 76°W  
Altitud: 157 msnm

Departamento: La Libertad  
Provincia: Ascope  
Distrito: Casa Grande  
Periodo: 1934-2002

**DATOS METEREOLÓGICOS**

Año	UND.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Max. media mensual	°C	28,2	29,2	29,0	27,2	25,4	23,6	22,5	22,6	23,1	23,9	24,8	26,5
Temp. Min. media mensual	°C	19,1	20,5	20,1	18,6	16,7	15,5	14,5	14,7	14,6	15,3	15,7	17,3
Temp. media mensual	°C	9,6	24,9	24,6	22,9	21,1	19,6	18,5	18,7	18,9	19,6	20,3	21,9
Humedad Relativa media mensual	%	74,7	74,8	76,2	77,2	79,1	81,0	81,8	81,0	79,8	78,5	77,6	76,0
Precipitación Total media mensual	mm	0,0	1,2	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
N° de Horas de sol	hrs	6,7	6,1	6,6	6,9	6,7	5,5	4,9	5,1	6,0	6,6	6,8	6,9
Velocidad media del viento	Km/d	188,3	178,1	177,6	184,1	181,0	175,4	168,8	183,5	190,2	193,7	196,1	195,8

Elaboración Propia

Después de ingresar los datos necesarios en el programa resulta la Tabla 4.14 "Crop Water Requirement", con los resultados de la demanda de agua. En la última columna se observa que en promedio se requieren 0,56 l/s/ha para regar cada hectárea de maíz y el requerimiento de agua en la etapa de máxima demanda es de 0,86 l/s/ha.

Tabla 4.14 - Resultado de la Demanda de Agua del cultivo de maíz,  
software CROPWAT

Crop Water Requirements Table								
MAIZ (Grano) ▾		Time Step (Days):		12	Update		Report...	
[All Blocks] ▾		Irrigation Efficiency (%):		70	Close			
Date	ET <sub>o</sub> (mm/period)	Crop Area (%)	Crop K <sub>c</sub>	CWR (ET <sub>m</sub> ) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1/1	54.54	100.00	0.30	16.36	0.00	0.00	16.36	0.23
13/1	55.19	100.00	0.30	16.56	0.00	0.00	16.56	0.23
25/1	55.33	100.00	0.42	23.44	0.00	0.00	23.44	0.32
6/2	54.93	100.00	0.69	38.09	0.00	0.00	38.09	0.52
18/2	54.01	100.00	0.96	52.03	0.00	0.00	52.03	0.72
2/3	52.62	100.00	1.18	62.15	0.00	0.00	62.15	0.86
14/3	50.84	100.00	1.20	61.01	0.00	0.00	61.01	0.84
26/3	48.77	100.00	1.20	58.52	0.00	0.00	58.52	0.81
7/4	46.50	100.00	1.19	55.27	0.00	0.00	55.27	0.76
19/4	44.17	100.00	0.98	43.27	0.00	0.00	43.27	0.60
1/5	41.88	100.00	0.70	29.30	0.00	0.00	29.30	0.40
13/5	10.13	100.00	0.52	5.30	0.00	0.00	5.30	0.29
<b>Total</b>	<b>568.90</b>			<b>461.29</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>461.29</b>	<b>[ 0.56 ]</b>

Elaboración Propia

### m) Área de Terreno Irrigada

Considerando que toda el agua transportada por el Canal San Antonio haya sido destinada para el cultivo de maíz, y además considerando una eficiencia de riego de 41%<sup>5</sup>, se puede obtener de manera aproximada el área de terreno irrigada por el canal San Antonio.

Se tiene:

$Q \approx 2,50 \text{ m}^3/\text{s}$  Caudal de operación

$Da = 0,56 \text{ l/s/Ha}$  Demanda de agua promedio para el maíz

$Da = 0,00056 \text{ m}^3/\text{s/Ha}$

$Er = 41 \%$  Eficiencia de riego, producto de la eficiencia de conducción, de distribución y de aplicación del agua.

$$A_{Irrig.} = \frac{Q * Er}{Da} \quad (4-2)$$

$A_{Irrig.} = 1830 \text{ Ha}$  Área irrigada

<sup>5</sup> Eficiencia de riego promedio actual con la que vienen operando los sistemas de riego en el valle de Chicama; Fuente: Proyecto de Evaluación y ordenamiento de los Recursos hídricos de la Cuenca del río Chicama-Sistemas de Riego; INRENA; 2003.

## CONCLUSIONES

1. La infraestructura hidráulica desarrollada por las Culturas Moche y Chimú, está representada por un complejo sistema de irrigación, que involucra sistemas de captación, canales, acueductos y embalses; y se presentan en los Planos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4. Estas estructuras fueron construidas principalmente en las partes bajas y medias de los valles.
2. La red de canales de irrigación, de los que se tiene referencia bibliográfica, suman en total aproximadamente 816 km distribuidos en diferentes valles. En la actualidad muchos de estos canales continúan en funcionamiento, previamente rehabilitados y mantenidos por los actuales pobladores.
3. Los Moches y los Chimúes desarrollaron técnicas agrícolas para aprovechar todos los espacios aptos para la agricultura dentro y fuera de los valles, e incluso en zonas en las que se podía utilizar el agua subterránea, estas técnicas son conocidas como: huachagues, terrazas o bancadas, mahamaes y sistemas de canales; también desarrollaron técnicas de sembrío para aprovechar de manera más eficiente el agua irrigada, tales como: surcos rectos, pozas, y surcos en forma de caracol.
4. La costa norte presenta un clima árido tropical, pero se calcula que en la época de las Culturas Moche y Chimú se produjeron aproximadamente 20 Fenómenos de El Niño (Meganiños), que debieron significar cuantiosas pérdidas materiales y humanas como hasta hoy en día.
5. El perfeccionamiento constructivo de los sistemas de irrigación fue gradual, los proyectistas y los constructores debieron aprender de la experiencia heredada de los antiguos pobladores y de las dificultades y necesidades de origen natural que se les presentaron, tales como: topografía, fenómenos atmosféricos, fenómenos geodinámica externa, disponibilidad de los materiales de construcción.
6. Se identificó que los canales en terraplén en los tramos de cruce de quebradas, carecían de una estructura que permitiera descargar el escurrimiento superficial de la quebrada (tipo alcantarilla), por lo que en la

mayoría de los casos se encontraron estos tramos colapsados, lo que demuestra que aun se encontraban en proceso de perfeccionamiento en el diseño de estas estructuras.

7. El caudal promedio mensual del Río Moche, del cual los Moches y Chimúes captaban agua, en la Estación Hidrométrica Quirihuac (1931-2000) es de  $9,12 \text{ m}^3/\text{s}$  y el caudal máximo mensual es de  $228,87 \text{ m}^3/\text{s}$  (Marzo, 1998); en este año ocurrió el último Fenómeno de El Niño de importancia.
8. Con respecto al Canal El Moro;
  - La construcción de este canal corresponde a la época Moche IV, fue rehabilitada en la época Chimú, y actualmente continua en funcionamiento administrado por la junta de usuarios del sub-districto de riego Moche.
  - Este canal capta las aguas del Río Moche, comparte su estructura de captación y un tramo de canal de 781 m con el canal prehispánico Vinchazao, luego ambos canales se desarrollan por separado.
  - El Canal El Moro tiene una longitud total de 12,77 km, el tramo inicial del canal transcurre por una topografía plana, aproximadamente en la progresiva (2+500) su recorrido se inicia a media ladera bordeando los cerros, finalmente por la progresiva (4+500) la trayectoria del canal se aleja de los cerros y sigue un alineamiento que le permite conservar una pendiente constante.
  - Originalmente, las paredes del canal fueron cubiertas con material arcilloso.
  - La sección del canal entre las progresivas 0+000 y 1+000, corresponde a una sección aproximadamente trapezoidal, base=1,9 m; talud 1V:0,6H; altura =1,25 m, pero a través de toda su trayectoria presenta sección variable, la sección disminuye de tamaño a lo largo del canal.
  - La pendiente del canal entre las progresivas 0+000 y 1+000 es de 0,2%.
  - El caudal de operación del canal es de  $Q=1,60 \text{ m}^3/\text{s}$ , este valor corresponde a una persistencia al 58,1% del caudal del Río Moche a la altura de la bocatoma del Canal El Moro.
  - El esfuerzo cortante promedio en el canal es  $\tau_0=1,02 \text{ kg}/\text{m}^2$ , cuando discurre el caudal de operación, el cual es menor que el esfuerzo cortante

crítico  $\tau_c = 1,1 \text{ kg/m}^2$ , por lo tanto no se produciría arrastre de material en el fondo del canal, resultando una sección estable.

- La velocidad de operación del canal El Moro es aproximadamente de  $V_{op.} = 0,63 \text{ m/s}$  en el tramo (0+000 – 1+000) y la velocidad máxima permisible recomendada por Fortier y Scobey (1926) para este tipo de material es de  $1,52 \text{ m/s}$ , por lo tanto la velocidad del fluido en el canal no causaba erosión en los contornos de éste.
9. Con respecto al Acueducto de Ascope;
- Este acueducto forma parte de un canal de irrigación prehispánico llamado actualmente San Antonio, el cual se encuentra en abandono.
  - El Canal San Antonio captaba las aguas de la margen derecha del Río Chicama, y fue construido con el propósito de irrigar las tierras que actualmente forman parte de San José Alto, Bajo y Paiján. Esta estructura tiene aproximadamente 36 km de longitud, de los cuales la mayor parte de su trayectoria ha sido construida sobre material de relleno a media ladera o sobre terraplenes.
  - El Acueducto de Ascope se ubica en el km 23 del Canal San Antonio y tiene una longitud de 1,3 km.
  - Es probable que la construcción de este acueducto se deba a la solución adoptada por los Mochicas o los Chimúes de un tramo del Canal San Antonio que no podía ser construido por la ladera por presentar un talud inestable.
  - La sección típica promedio del Canal San Antonio, en el tramo del acueducto, corresponde a una sección trapezoidal compuesta, base = 1,8 m; talud (sección inferior) 1V:0,35H; altura (sección inferior) = 1,29 m, talud (sección superior) 1V:0,8H; altura (sección superior) = 1,0 m, es probable que la sección superior haya servido para operar en épocas de avenida.
  - La pendiente promedio del Canal San Antonio, en el tramo del acueducto, es de 0,21%.
  - El caudal de operación del canal es de  $Q \approx 2,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , este valor corresponde a una persistencia al 89,0% del caudal del Río Chicama a la altura de la bocatoma de este canal.
  - La velocidad permisible en el canal  $V_{ad.} = 1,2 \text{ m/s}$  (Método de la velocidad permisible) y la velocidad máxima permisible recomendada por Fortier y

- Scobey (1926) de 1,52 m/s son mayores a la velocidad de operación del canal  $V= 1,06\text{m/s}$ , por lo tanto la velocidad del fluido en el canal no causaba erosión en los contornos de éste.
- El esfuerzo cortante promedio calculado en el canal  $\tau_0=1,22\text{ kg/m}^2$ , cuando discurre el caudal de operación, el cual es menor que el esfuerzo cortante Crítico  $\tau_c =1,3\text{ kg/m}^2$ , por lo tanto no se produciría arrastre de material en el fondo del canal, resultando una sección estable.
  - La zona central del terraplén está construida con dos tipos de suelo arcillosos, colocados en capas horizontales de 15 cm de espesor aproximadamente, estas capas de arcilla forman estructuralmente el cuerpo del terraplén sobre el que se colocan las paredes laterales del canal, este material por ser de baja permeabilidad ha permitido que el terraplén se encuentre en buenas condiciones.
  - La zona externa del terraplén y del canal lo conforma un material clasificado como: arcilla limo arenosa de baja plasticidad.
  - Las capas de arcilla se encuentran compactadas (relleno controlado) y presentan rajaduras y grietas (probablemente por pérdida de humedad).
  - El volumen de material arcilloso utilizado en la construcción del terraplén asciende aproximadamente a  $412\,230\text{ m}^3$ .
  - La inversión de mano de obra utilizada en la construcción del terraplén, considerando el rendimiento y cuadrilla que se utiliza actualmente en la actividad Relleno Compactado, se habría realizado en 165 días con 100 cuadrillas (510 trabajadores).
  - La extensión aproximada del terreno agrícola que se irrigó con el agua del Canal San Antonio, considerando el cultivo más representativo en la época de los Moches y Chimúes, el maíz, es de 1830 Ha.
  - De acuerdo al análisis de estabilidad presentado en el Anexo 2, se concluye que los taludes del terraplén, que conforman el acueducto, son estables; presentado los siguientes resultados: F.S = 1,47 (Análisis Estático) y F.S = 1,01 (Análisis Pseudo-estático).
10. Con respecto al denominado embalse de San Bartolo, que se formaba entre el terraplén del Acueducto de Ascope y la ladera contigua, no se ha encontrado ninguna estructura de descarga del agua embalsada, por lo que

se considera que es difícil que los Moches o los Chimúes hayan podido aprovechar las aguas de este embalse en épocas de estiaje.

11. Los vestigios de estas estructuras hidráulicas nos muestran la extensión de las zonas agrícolas que se desarrollaron en la época de las culturas Moche y Chimú y que en la actualidad se encuentran abandonadas, para recuperar estas zonas de cultivo parte de la solución podría ser la puesta en valor de estas estructuras utilizando las técnicas y procedimientos constructivos modernos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la evaluación de los otros embalses prehispánicos mencionados en esta tesis, para determinar si éstos fueron construidos y utilizados en épocas de estiaje.
2. Se sugiere realizar el estudio de los diferentes sistemas constructivos que se utilizaron en la construcción de los terraplenes.
3. Se recomienda estudiar el acueducto ubicado en el Complejo Arqueológico La Carbonera Quirihuac II (Figura 3.4), puesto que esta estructura presenta un orificio tipo alcantarilla, que no presentan las demás estructuras.
4. Se recomienda realizar el levantamiento topográfico de las estructuras hidráulicas que no han sido estudiadas en esta tesis, para mejorar los planos de ubicación presentados.
5. Se recomienda proteger las zonas donde se encuentran los vestigios de la infraestructura hidráulica.
6. Se recomienda realizar señalizaciones de ubicación de las estructuras y mantenimiento de estas para promover el turismo en esta zona.
7. Se recomienda un mayor estudio en la zona del denominado embalse San Bartolo.



## BIBLIOGRAFIA

1. **Aguirre Pe, Julián**  
*"Hidraulica de Canales"*  
CIDIAT  
Mérida, Venezuela, 1974
2. **Álvarez Sánchez, Gustavo**  
*"La Gigante Represa Mochica de Ascope"*  
En: 2do Congreso Peruano del Hombre y la Cultura Andina. Libro de resúmenes y guía del Congreso. Pág. 63  
Lima, Perú, 1974.
3. **Campana, Cristóbal**  
*"La Cultura Mochica"*  
CONCYTEC  
Lima, Perú, 1994
4. **CEPES, Centro Peruano de Estudios Sociales**  
*"Diagnostico de la calidad del agua del rio Viru"*  
[http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico\\_calidad\\_agua-tomo1/diagnostico\\_calidad\\_agua\\_cuenca\\_rio\\_viru.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_agua-tomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_viru.pdf)
5. **Coronado Del Águila, Francisco**  
*"Diseño y Construcción de Canales"*  
Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería  
Lima, Perú, 1992.
6. **Damiani, Oscar**  
*"Sistema de riego prehispánico en el valle de Iglesia, San Juan, Argentina"*  
San Juan, Argentina, 2002
7. **Del Busto Duthurburu, José Antonio**  
*"Perú Preincaico"*  
Segunda Edición, Editorial Librería Studium  
Lima, Perú, 1975.
8. **Deeds, E., J. Kus, M. Moseley, F. Nials, C. Ortloff, L. Pippin, S. Pozorski and T. Pozorski**  
*"Un estudio de irrigación prehispánica en Pampa Esperanza, Valle de Moche: metodología y resultados preliminares"*

- III Congreso peruano, el Hombre y la Cultura Andina. Actas y Trabajos.  
Lima, Perú, 1978
9. **Deza Rivasplata, Jaime**  
*"Manejo Prehispánico del agua en la Costa Norte Peruana: Continuidad de los Sistemas"*  
Editorial Universidad Alas Peruanas.  
Lima, Perú, 1999.
10. **Farrington, Ian S.**  
*"Irrigación Prehispánica y Establecimientos en la Costa Norte del Perú"*  
En: Tecnología Andina, R. Ravines.  
Lima, Perú, 1978.
11. **French, Richard H.**  
*"Hidráulica de Canales Abiertos"*  
McGraw-Hill  
México, 1988.
12. **Herbert H., Eling, Jr.**  
*"Interpretaciones preliminares del sistema de riego antiguo de Talambo en el valle de Jequetepeque, Perú"*.  
En: Anales III Congreso Peruano El Hombre y la Cultura Andina. Tomo II.  
Lima, Perú, 1977.
13. **Hidromanta**  
*"Estudio a nivel de Factibilidad de la C.H. Manta"*  
HIDROMANTA  
Lima, Perú, 2010
14. **Huertas, Lorenzo**  
*"Diluvios Andinos a través de las Fuentes Documentales"*  
Fondo Editorial PUCP  
Lima, Perú, 2001.
15. **Kauffman Doig, Federico**  
*"Manual de Arqueología Peruana"*  
Sétima Edición, Editorial Iberia.  
Lima, Perú, 1980
16. **Keatinge, Richard W.**  
*"Centros Administrativos Rurales"*

- En: "Chan Chan, Metrópoli Chimú", R. Ravines. Instituto de Estudios peruanos (IEP)  
Lima, Perú, 1980.
17. **Kosok, Paul**  
(a) "*El Valle de Lambayeque*"  
Actas y Trabajos del II Congreso Nacional de Historia del Perú.  
Lima, Perú, 1959.  
(b) "*Chimu Techniques of Canal Construction and Maintenance*"  
Editor: Berkley, California State University  
California, USA, 1974
18. **Kus Kus, James S.**  
"*Canal de La Cumbre*"  
Boletín de Lima Nº 39 Año 7, Revista Científica.  
Lima, Perú, 1985.
19. **Landeras Rodríguez, Humberto M.**  
"*Así se hizo CHAVIMOCHIC*"  
Ediciones Carolina  
Trujillo, Perú, 2004:
20. **"La Republica"**  
"*LA LIBERTAD/ LAMBAYEQUE, Atlas Departamental del Perú*"  
Primera Edición, Ediciones PEISA  
Lima, Perú, 2003.
21. **Larco Hoyle, Rafael**  
"*Los Mochicas*"  
<http://losmochicas.perucultural.org.pe/>  
Lima, Perú, 1940
22. **Lumbreras, Luis Guillermo**  
"*De los Pueblos, las Culturas y las Artes del Antiguo Perú*"  
Primera Edición, Moncloa-Campodónico Editores Asociados.  
Lima, Perú, 1969
23. **Manrique L., Suarez M.**  
"Irrigación prehispánica en el complejo arqueológico La Carbonera Quirihuac II Valle de Moche"  
Trujillo, Perú, 1990
24. **Ministerio de Agricultura**

- "Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Chicama- Hidrología"*  
Lima, Perú, 2003
25. **ONERN**  
*"Inventario y Evaluación y uso racional de los Recursos Naturales de la Costa: cuenca del río Moche"*  
Lima, Perú, 1973
26. **Ortloff, C.; Moseley, M.; Feldman, R.**  
(a) *"Hydraulic Engineering and Historical Aspects of the Pre-Columbian Intravalley Canal Systems of the Moche valley, Peru"*  
En: Journal of Field Archaeology, vol.12:77-98.  
1985  
(b) *"Hydraulic Engineering Aspects of The Chimu Chicama-Moche Intervalley Canal"*  
En: American Antiquity 47/3.  
1982  
(c) *"The Chicama-Moche Intervalley Canal: Social Explanations and Physical Paradigms"*  
En: American Antiquity 48/2.  
1983
27. **Ortloff, Charles R.**  
*"La Ingeniería Hidráulica Chimú"*  
En: La Tecnología en el mundo Andino. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM, Instituto de investigaciones antropológicas.  
México, 1981
28. **Ramírez, Fidel; Deza Rivasplata, Jaime**  
*"Cuando los Desiertos eran Bosques"*.  
Segunda Edición, Fondo Editorial Universidad Alas Peruanas.  
Lima, Perú, 2000.
29. **Ravines, Rogger.**  
*"El Medio Geográfico"*  
En: "Chan Chan, Metrópoli Chimú", R. Ravines.  
Primera Edición; Instituto de Estudios Peruanos (IEP).  
Lima, Perú, 1980.

30. **Rocha Felices, Arturo**  
*"La Ingeniería frente al Fenómeno de el Niño"*  
Artículo: Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Civil-UNI.  
Lima, Perú, 2003  
*"Caracterización Hidrometeorológica de Los Meganifios en la Costa Norte Peruana"*  
Lima, Perú, 2003
31. **Rodríguez Suy Suy, Víctor A.**  
*"Irrigación Prehistórica en el valle de Moche".*  
Publicación del museo de Sitio Chavimochic, Año I N.1 (3)  
Trujillo, Perú, 1973.
32. **Uceda, Santiago; Mujica, Elías**  
*"Moche Propuestas y Perspectivas"*  
Primer coloquio sobre la Cultura Moche-Universidad Nacional de Trujillo  
Trujillo, Perú, 1993
33. **Ven Te Chow**  
*"Hidráulica de los Canales Abiertos"*  
Editora: Martha Edna Suarez  
Bogotá, Colombia, 2004
34. **Zegarra, Jorge M.**  
*"Irrigación y técnicas de riego en el Perú precolombino"*  
En: Tecnología Andina, R. Ravines, IEP, Lima. Pág. 107-116.  
Lima, Perú, 1978.

**ANEXO 1**  
**Resultados de Laboratorio**  
**Geotecnia**

<b>CESEL</b> <b>INGENIEROS</b> LABORATORIO GEOTECNICO Y DE CONCRETO	<b>REGISTRO</b>	Código : LGC-P-01-G1-F7-S Revisión: 01 Aprobado : CSGILGC Fecha : 15/05/2009 Página : 1 de 1
	<b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b>	

Informe N° : **LGC-09-111**

Fecha de emisión : **02/07/2009**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS</b> <b>NTP 339.131 / ASTM D-854</b>
--

Código del proyecto : **2072-09**

Fecha de recepción: **08/06/2009**

Solicitante: **Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga**

Proyecto: **Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú**

Ubicación: **Ascope - Ascope - La Libertad**

Sondeo : **—** Muestra : **M-1** Profundidad(m): **Superficial**

DATOS	1	2
Temperatura Tx (°C)	20	20
Peso de pignómetro (g)	100.33	95.63
Peso pignómetro + muestra seca (g)	200.33	195.63
Peso pignómetro + muestra + agua (g)	412.45	407.8
Peso de pignómetro + agua (g)	349.64	344.94
Peso de la muestra seca (g)	100	100
Verificación del peso mínimo	Ok	Ok
Peso específico Tx (Gst)	2.69	2.69
Peso específico T20°C (Gst x Ki)	2.69	2.69

Diferencia de los dos ensayos : **0.00** El ensayo es válido.

**Factores de corrección a diferentes temperaturas**

T (°C)	Densidad relativa del agua (g/cm3)	Factor de corrección K
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9988
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

Para el ensayo se tienen los siguientes valores de K

K1 : 1  
K2 : 1

**Observaciones :**

- La diferencia de los valores obtenidos cumple con lo exigido por la norma.



<b>CESEL</b> <b>INGENIEROS</b> LABORATORIO GEOTECNICO Y DE CONCRETO	<b>REGISTRO</b>	<b>Código :</b> LGC-P-01-G1-F7-S <b>Revisión:</b> 01 <b>Aprobado :</b> CSGILGC <b>Fecha :</b> 15/05/2009 <b>Página :</b> 1 de 1
	<b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b>	

Informe N° : *LGC-09-111*

Fecha de emisión : 02/07/2009

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS</b> <b>NTP 339.131 / ASTM D-854</b>
--

Código del proyecto : 2072-09

Fecha de recepción: 08/06/2009

Solicitante: Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga

Proyecto: Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú

Ubicación: Ascope - Ascope - La Libertad

Sondeo : -- Muestra : M-2 Profundidad(m): Superficial

DATOS	1	2
Temperatura Tx (°C)	20	20
Peso de pignómetro (g)	94.72	98.88
Peso pignómetro + muestra seca (g)	194.7	198.9
Peso pignómetro + muestra + agua (g)	406.76	411.44
Peso de pignómetro + agua (g)	343.87	348.46
Peso de la muestra seca (g)	99.98	100.02
Verificación del peso mínimo	Ok	Ok
Peso específico Tx (Gst)	2.7	2.7
Peso específico T20°C (Gst x Ki)	2.7	2.7

Diferencia de los dos ensayos : 0.00 El ensayo es válido.

Factores de corrección a diferentes temperaturas

T (°C)	Densidad relativa del agua (g/cm3)	Factor de corrección K
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9988
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

Para el ensayo se tienen los siguientes valores de K

K1 : 1  
K2 : 1

Observaciones :

- La diferencia de los valores obtenidos cumple con lo exigido por la norma.





<b>CESEL</b> <b>INGENIEROS</b> LABORATORIO GEOTECNICO Y DE CONCRETO	<b>REGISTRO</b>	<b>Código :</b> LGC-P-01-G1-F7-S <b>Revisión:</b> 01 <b>Aprobado :</b> CSGILGC <b>Fecha :</b> 15/05/2009 <b>Página :</b> 1 de 1
	<b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b>	

Informe N° : **LGC-09-111**

Fecha de emisión : 02/07/2009

**GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS  
NTP 339.131 / ASTM D-854**

Código del proyecto : 2072-09

Fecha de recepción: 08/06/2009

Solicitante: Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga

Proyecto: Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú

Ubicación: Ascope - Ascope - La Libertad

Sondeo : --- Muestra : M-3 Profundidad(m): Superficial

DATOS	1	2
Temperatura Tx (°C)	20	20
Peso de pignómetro (g)	96	95.55
Peso pignómetro + muestra seca (g)	196	195.55
Peso pignómetro + muestra + agua (g)	407.6	407.46
Peso de pignómetro + agua (g)	345.28	344.9
Peso de la muestra seca (g)	100	100
Verificación del peso mínimo	Ok	Ok
Peso específico Tx (Gst)	2.65	2.67
Peso específico T20°C (Gst x Ki)	2.65	2.67

Diferencia de los dos ensayos : 0.02 El ensayo es válido.

Factores de corrección a diferentes temperaturas

T (°C)	Densidad relativa del agua (g/cm3)	Factor de corrección K
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9988
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

Para el ensayo se tienen los siguientes valores de K

K1 : 1  
K2 : 1

Observaciones :

- La diferencia de los valores obtenidos cumple con lo exigido por la norma.



Informe N°: LGC-09-111

Fecha de Emisión : 11/06/2009

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**

Código del proyecto: 2072-09

Fecha de recepción : 06/08/2009

Solicitante: Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga

Proyecto: Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú

Ubicación : Ascope - Ascope - La Libertad

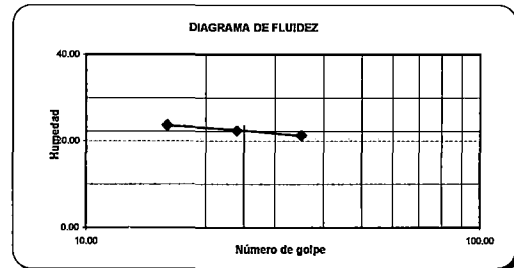
Sondeo : -- Muestra : M-1 Profundidad : Superficial

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	N°	Abertura (mm)	
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	100.0
	1 "	25.400	100.0
	3/4 "	19.100	100.0
	3/8 "	9.520	100.0
	N° 4	4.760	95.0
	N° 10	2.000	90.4
	N° 20	0.840	85.5
	N° 40	0.425	79.7
	N° 60	0.250	75.5
	N° 140	0.106	64.1
	N° 200	0.075	61.3

Contenido de Humedad referencial (%W) : 1.98

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%): 22  
 Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%): 16  
 Índice Plástico (IP) (%): 6

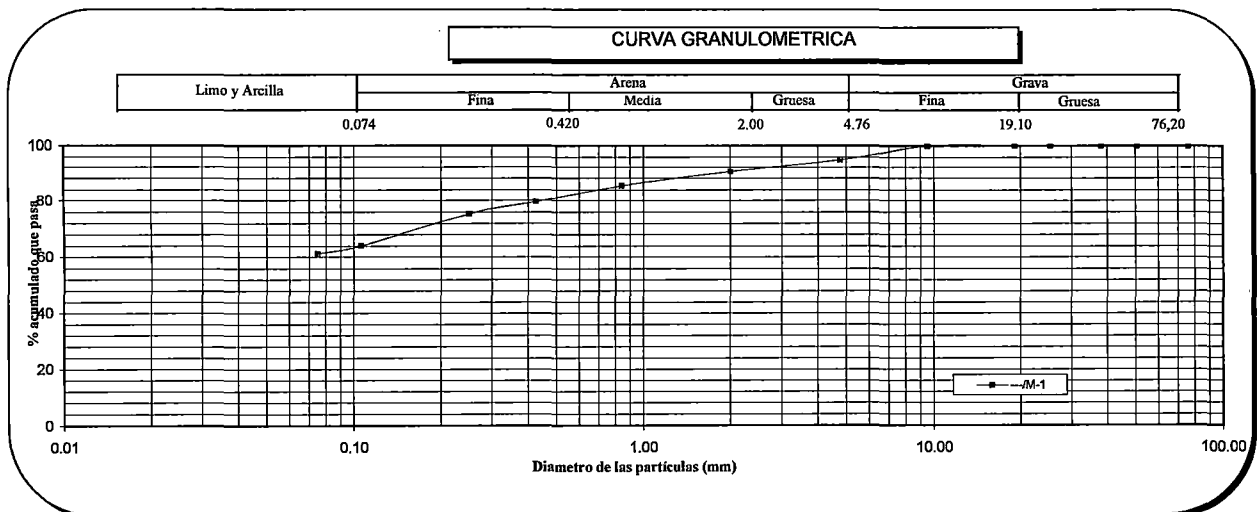


**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	0.0
	GF%	5.0
% Arena	AG%	4.6
	AM%	10.7
	AF%	18.4
% Finos		61.30

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
CL - ML	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-4	Índice de Grupo : 5



**Observaciones:**

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma



Informe N°: LGC-09-111

Fecha de Emisión : 11/06/2009

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**

Código del proyecto: 2072-09

Fecha de recepción : 06/08/2009

Solicitante: Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga

Proyecto: Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú

Ubicación : Ascope - Ascope - La Libertad

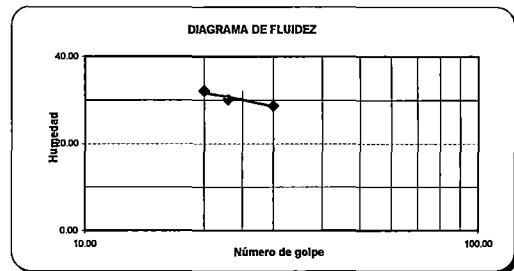
Sondeo : --- Muestra : M-2 Profundidad : Superficial

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	N°	Abertura (mm)	
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	100.0
	1 "	25.400	100.0
	3/4 "	19.100	100.0
	3/8 "	9.520	100.0
	N° 4	4.760	100.0
	N° 10	2.000	99.6
	N° 20	0.840	99.3
	N° 40	0.425	99.1
	N° 60	0.250	99.0
	N° 140	0.106	98.3
	N° 200	0.075	98.1

Contenido de Humedad referencial (%W) : 2.52

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

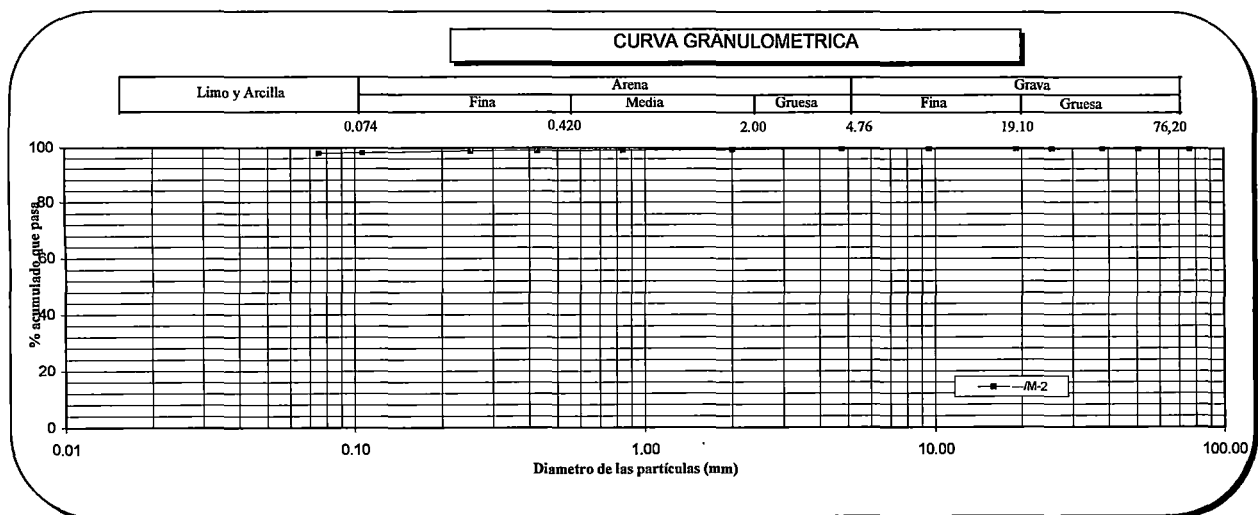
Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%): 30  
 Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%): 18  
 Índice Plástico (IP) (%): 12



Distribución Granulométrica		
% Grava	GG%	0.0
	GF%	0.0
% Arena	AG%	0.4
	AM%	0.5
	AF%	1.0
% Finos		98.10

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
CL	Arcilla de baja plasticidad

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-6	Índice de Grupo : 16



**Observaciones:**

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma



Informe N°: LGC-09-111

Fecha de Emisión : 11/06/2009

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**

Código del proyecto: 2072-09

Fecha de recepción : 06/08/2009

Solicitante: Bach. Ing. Lisbeth Pimentel Aliaga

Proyecto: Estudio de la Infraestructura Hidráulica de la Cultura Moche - Chimú

Ubicación : Ascope - Ascope - La Libertad

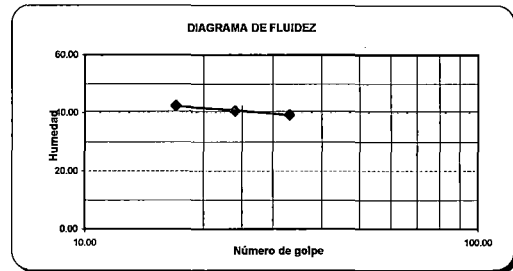
Sondeo : --- Muestra : M-3 Profundidad : Superficial

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	N°	Abertura (mm)	
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	100.0
	1 "	25.400	100.0
	3/4 "	19.100	100.0
	3/8 "	9.520	100.0
	N° 4	4.760	100.0
	N° 10	2.000	100.0
	N° 20	0.840	99.9
	N° 40	0.425	99.8
	N° 60	0.250	99.7
	N° 140	0.106	97.2
	N° 200	0.075	94.6

Contenido de Humedad referencial (%W) : 3.54

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%): 41  
 Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%): 20  
 Índice Plástico (IP) (%): 21

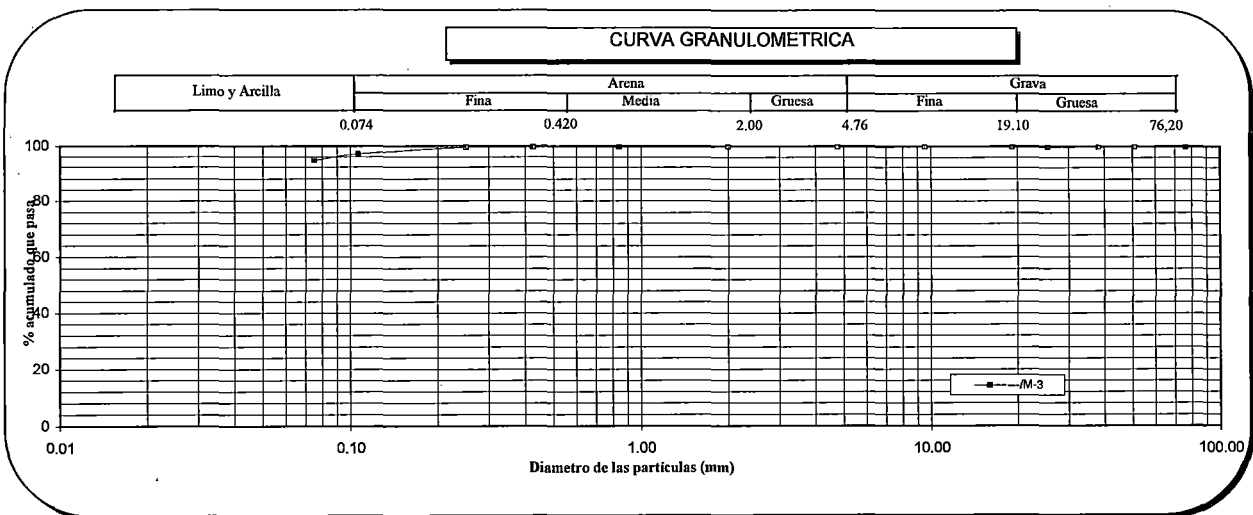


**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	0.0
	GF%	0.0
% Arena	AG%	0.0
	AM%	0.2
	AF%	5.2
% Finos		94.60

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
CL	Arcilla de baja plasticidad

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-7-6	Índice de Grupo : 20



**Observaciones:**

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma



**ANEXO 2**  
**Análisis de Estabilidad de Taludes**  
**del Terraplén**

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TERRAPLÉN

Los análisis de estabilidad de taludes han sido llevados a cabo para analizar la estabilidad de los taludes del terraplén que conforma el acueducto de Ascope.

### 1.1 Metodología del Análisis

Para el análisis de la estabilidad de taludes se utilizó el programa de cómputo SLIDE (Rocscience, 2005) versión 5.0; el análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo en forma bi-dimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana.

Para el presente análisis se ha utilizado el Método de Bishop de dovelas para el cálculo de la superficie de falla crítica, definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad.

Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. El coeficiente sísmico horizontal utilizado fue de 0,20.

Los criterios de diseño establecidos para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,4; y
- Mínimo factor de seguridad pseudoestático a largo plazo igual a 1,0.

### 1.2 Propiedades de los Materiales

#### a) CL-ML

Este material constituye la zona externa del terraplén; de la clasificación SUCS realizada a este material y de la evaluación de campo se llegó a la conclusión que es una arcilla limosa de plasticidad media a baja, con una consistencia dura.

#### b) CL

Este material constituye el núcleo impermeable del canal; de la clasificación SUCS realizada a este material y de la evaluación de campo se llegó a la conclusión que es una arcilla de plasticidad media a baja, con una consistencia dura a rígida.

### c) Terreno Natural

De la visita a la zona en estudio, se puede estimar que este material tiene buenas condiciones geotécnicas; esto se evidencia a la cantidad de años que esta cimentado el canal y no presentar evidencias de asentamiento.

Las propiedades de los materiales se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1 - Propiedades Físicas de los materiales que conforman el terraplén

Material	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción (°)
CL-ML	16	10	15
CL	16	10	25
Terrano Natural	18	5	30

### 1.3 Resultados Obtenidos

Se presentan las salidas del programa SLIDE (Figura 1 y Figura 2), el cual ilustra el análisis de estabilidad realizado para la sección más crítica del canal en el caso estático y pseudo-estático. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del análisis de estabilidad realizado.

Tabla 2 - Resultados de los Análisis de Estabilidad

Descripción	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudo Estático K = 0,20
Terraplén que conforma el acueducto de Ascope	1,47	1,01

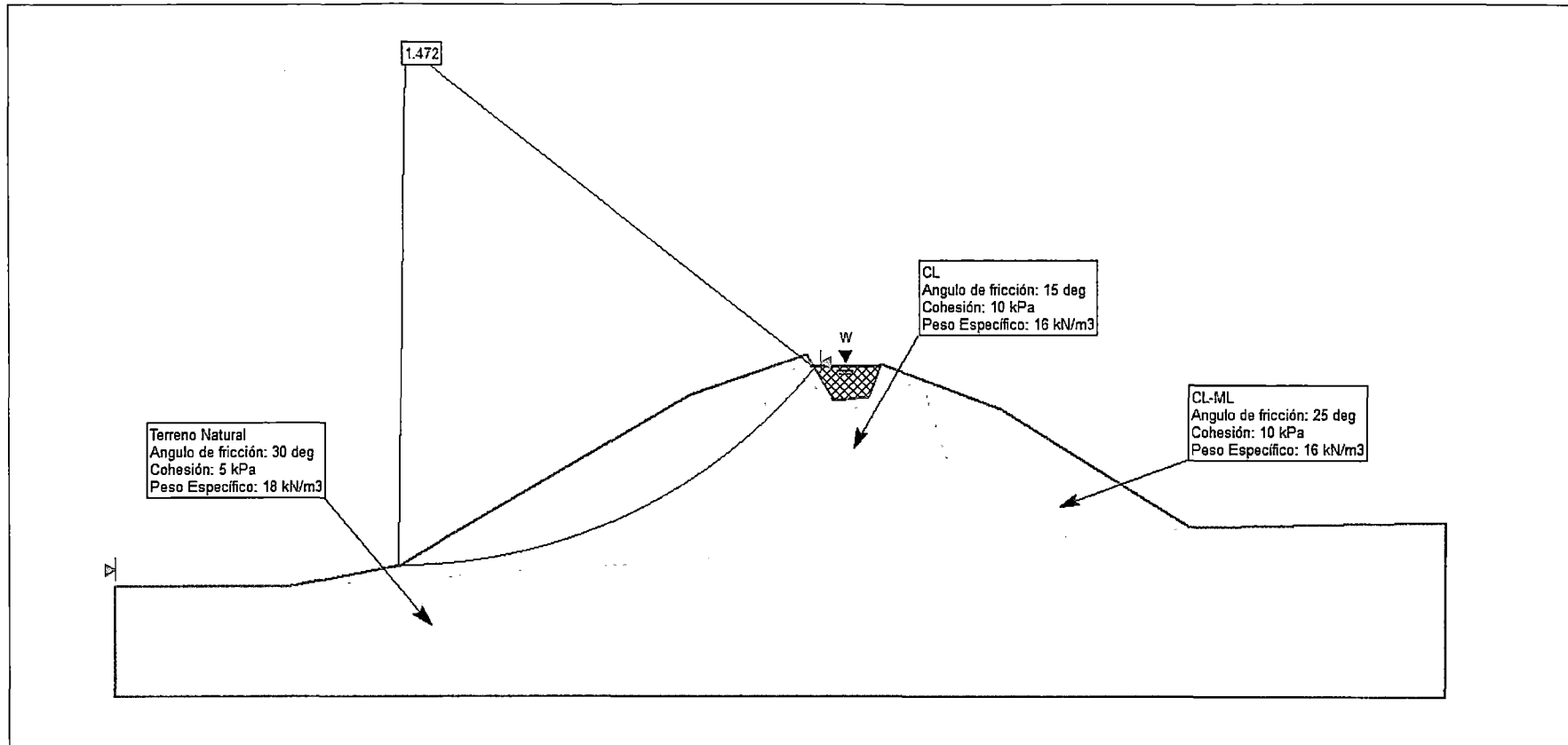


Figura 1 – Análisis de Estabilidad de Taludes del Terraplén  
Condición Estática



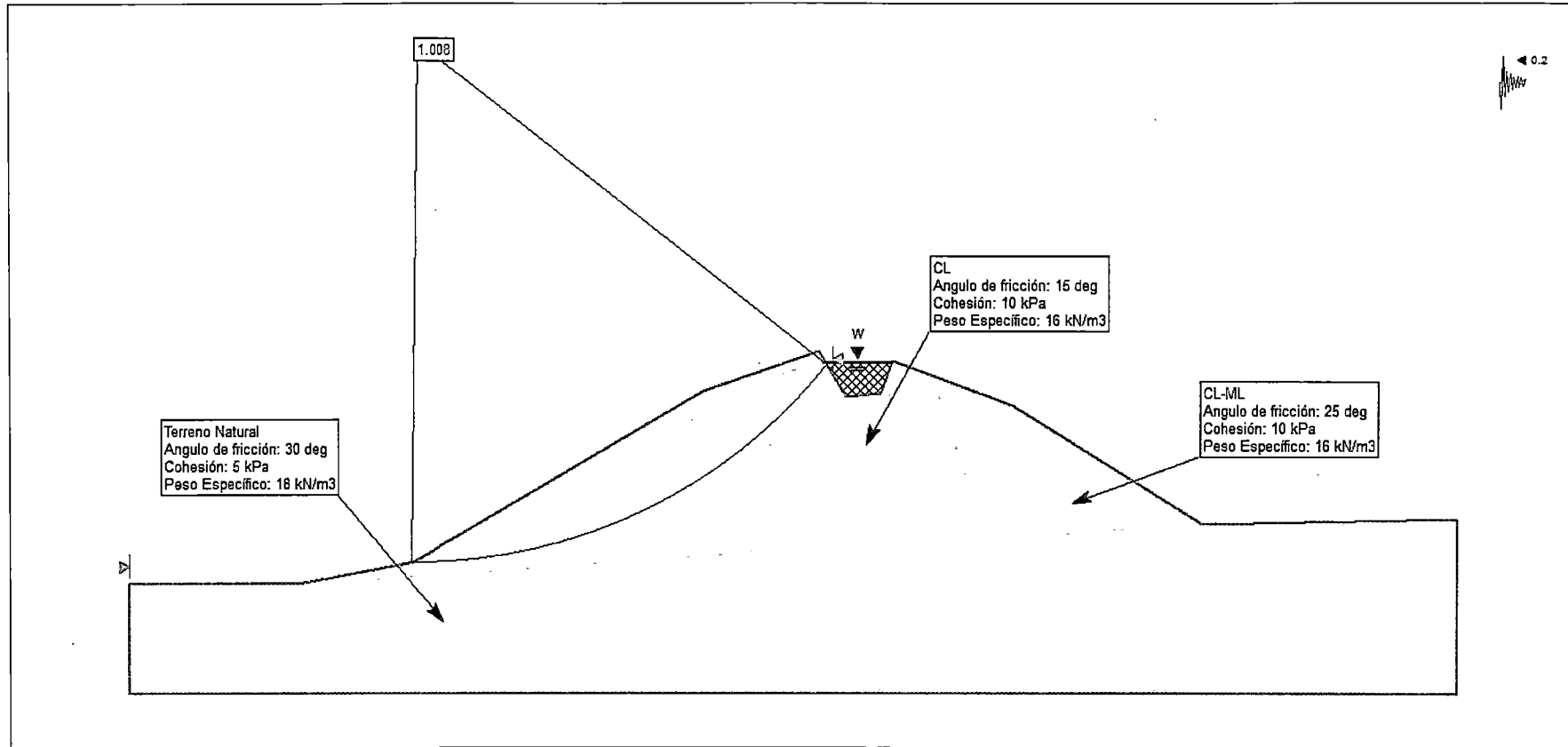


Figura 2 - Análisis de Estabilidad de Taludes del Terraplén  
Condición Pseudo-estática

## **ANEXO 3**

### **Planos**