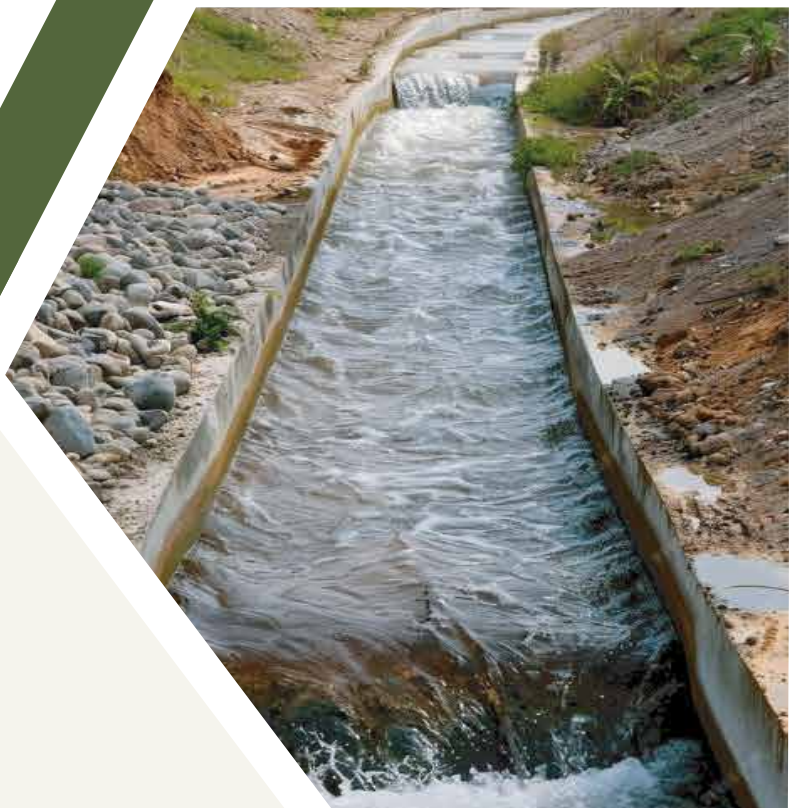


CUMBEMAYO

TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL CANAL INCA



Joel Petter Calderón Gutiérrez
Rosa Ricardina Chávez Farro



**EDITORIAL
KUNTUR**

Cumbemayo: Topografía y características hidráulicas del Canal Inca / Joel Petter Calderón Gutiérrez -Rosa Ricardina Chávez Farro. La Paz: Editorial Kuntur, 2024. 88 pp.

ISBN: 978-9917-639-21-3

1. Topografía, 2. Hidráulica, 3. Canales

Cumbemayo: Topografía y características hidráulicas del Canal Inca

Depósito legal: 4-1-3732-2024

ISBN: 978-9917-639-21-3

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11374467>

@ Joel Petter Calderón Gutiérrez

@ Rosa Ricardina Chávez Farro

Edición

Editorial Kuntur

Diseño de carátula y composición:

Freddy Raúl Calienes Quelopana

Edición electrónica:

Editorial Kuntur

© Editorial Kuntur

La Paz, Bolivia

www.editorialkuntur.com

Editado en Bolivia/ *Published in Bolivia*

Primera Edición: mayo de 2024

Todas nuestras publicaciones son sometidas a un proceso de arbitraje doble ciego de pares externos
(*Peer Review Double Blinded*).

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.



Licencia *Creative Commons* Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License

CUMBEMAYO:
TOPOGRAFÍA Y
CARACTERÍSTICAS
HIDRÁULICAS DEL CANAL
INCA

Joel Petter Calderón Gutiérrez
Rosa Ricardina Chávez Farro



EDITORIAL
KUNTUR

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	8

CAPÍTULO I

LAS NOCIONES DE CULTURA Y TECNOLOGÍA PREMODERNA	10
1.1. El concepto de ciencia en la actualidad	11
1.2. Las ciencias premodernas.....	14
1.3. La observación y experimentación antes de la ciencia moderna.....	16
1.4. Periodización del desarrollo de la tecnología premoderna	17
1.5. El desarrollo de la tecnología hidráulica en la antigüedad	20

CAPÍTULO II

LA GESTIÓN DEL AGUA EN LAS CIVILIZACIONES PRECOLOMBINAS	24
1.1. El desarrollo de la tecnología en las civilizaciones precolombinas.....	25
1.2. Gestión del agua y economía política en el Periodo Formativo	29
1.3. La gestión del agua y los rituales en la sociedad Maya	32

1.4. Rituales y simbolismo del agua en la cultura Maya	35
--	----

CAPÍTULO III

EL USO DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA EN EL IMPERIO INCA.....	37
---	----

1.1. El cambio climático y la asimilación tecnológica de culturas previas	38
---	----

1.2. La gestión del agua en la civilización Inca	43
--	----

1.3. La ideología del agua en la cosmovisión Inca.....	44
--	----

1.4. La ingeniería hidráulica en Tipon	48
--	----

1.5. La hidráulica del tempo del agua de Incamisana.....	50
--	----

CAPÍTULO IV

TOPOGRAFÍA, HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y CULTURA	52
--	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
---	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	
<i>Información computarizada de procesamiento topográfico</i>	52
Tabla 2.	
<i>Medición de diferencia de altura para calcular el caudal.....</i>	67
Tabla 3.	
<i>Resumen de evaluaciones mes de agosto.....</i>	70
Tabla 4.	
<i>Resumen de evaluaciones mes de diciembre.....</i>	73
Tabla 5.	
<i>Caudales finales.....</i>	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ejemplo de Shaduf.....</i>	21
Figura 2. <i>Pozo y sistema de drenaje de Mohenjo-Daro</i>	23
Figura 3. <i>Composición del canal principal y de las fuentes del complejo de Machu Picchu</i>	44
Figura 4. <i>Complejo arqueológico de Tipon</i>	49
Figura 5. <i>Topografía del santuario de Incamisana</i>	51
Figura 6. <i>Plano de planta 1. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.</i>	75
Figura 7. <i>Plano de planta 2. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.</i>	76
Figura 8. <i>Plano de planta 3. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.</i>	77
Figura 9. <i>Plano de planta 1. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.</i>	78
Figura 10. <i>Plano de planta 2. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.</i>	79
Figura 11. <i>Plano de planta 3. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.</i>	80

El presente es un trabajo que busca analizar las características hidráulicas de los canales incas de Cumbemayo, en el departamento peruano de Cajamarca. A simple vista, tal empresa podría criticarse, al considerar nociones científicas modernas en una civilización milenaria que no tuvo contacto con el mundo moderno hasta el siglo XV. Sin embargo, las críticas que podrían surgir implicarían una visión restrictiva del quehacer científico y de los procedimientos que este incorpora, al tiempo que tácitamente señalaría que los seres humanos, hasta antes de la formulación del método científico, no eran capaces de emplear técnicas y procedimientos que en la actualidad se consideran como científicos. Las habilidades de los seres humanos, y en especial las de aquellos que vivieron en entornos de profunda necesidad por solventar necesidades inmediatas, hicieron que estos tuvieron que formular soluciones inmediatas para poder sobrevivir, lo cual, a su vez, implicó el empleo de habilidades como la observación, la experimentación o incluso la formulación de sistemas de creencias que tuvieron una aplicación práctica en la descripción del mundo inmediato que les rodeaba. Estas habilidades, por definición, están contempladas dentro del método científico y suponen el uso del razonamiento, el pensamiento abstracto, la planificación e incluso la especulación en la resolución de problemas, todas ellas habilidades que los seres humanos actuales comparte con aquellos de hace cientos de años. Por todo ello, entonces, no resulta tan inverosímil la descripción de nociones que en la actualidad se pueden considerar como hidráulicas en el análisis descriptivo de los canales incaicos, pues resulta evidente que esta civilización conocía perfectamente nociones como el flujo del agua, la precipitación de los canales, la influencia de la energía cinética propiciada por la fuerza de la gravedad, el influjo de las formas en zigzag en la disminución de la velocidad del flujo del agua, etc. El hecho de que esta civilización no haya empleado los mismos términos en la descripción de estos fenómenos físicos no implica que no los pudieran conocer o que, incluso, no pudieran desarrollar innovaciones que en la actualidad resultan desconocidas para la ciencia moderna. De este modo, en la primera parte del trabajo, lo que se busca es analizar los conceptos de ciencia y, en especial, el de

ciencia práctica para dar cuenta de la perspectiva científica que las civilizaciones premodernas pudieron presentar para resolver sus necesidades inmediatas o para trascenderlas. La revisión de estas nociones busca sustentar el hecho fácilmente comprobable de que las civilizaciones antiguas emplearon categorías que en la actualidad se consideran científicas para elaborar desde canales de regadío hasta complejas construcciones arquitectónicas. Luego de esto, se busca vincular el empleo de los recursos científicos en estas poblaciones con las necesidades que tuvieron para abastecerse de agua limpia y disponible a la mayor parte de la población. En todas las civilizaciones antiguas que desarrollaron complejas estructuras como templos o vías urbanas, se hizo necesario el empleo de canales y acueductos, y estos se presentan desde las primeras civilizaciones de las cuales se tiene noticia, como la civilización sumeria en el Medio Oriente, hasta las primeras civilizaciones meso y sudamericanas. Por ello, la segunda sección busca dar cuenta tanto de las innovaciones hidráulicas que se efectuaron en América como del simbolismo ritual asociado a la gestión del agua en estas civilizaciones. Como se verá más adelante, los ritos y creencias sociales de las poblaciones americanas estuvieron fuertemente relacionados con la administración y el estatus social que implicaba el control de este recurso hídrico, y que se presenta en forma diferenciada en las civilizaciones Maya como Inca. El análisis de estas nociones permitirá señalar cuales fueron las características hidráulicas de la civilización Inca, así como del simbolismo asociado al agua en el surgimiento y elaboración de complejos sistemas de creencias que buscaban ejercer un control total sobre la población en base a este recurso. Todos estos elementos permiten comprender, en la cuarta parte, el análisis emprendido en el estudio con respecto a las características hidráulicas de los canales de Cumbemayo, un estudio que, hasta donde se sabe, aún no se ha emprendido. Por último, el equiparar los avances hidráulicos presentados en Cumbemayo con las innovaciones científicas de la actualidad permite tener en cuenta que el conocimiento del mundo antiguo se elaboró teniendo presente las mismas preocupaciones y necesidades que poseen los seres humanos actuales, en especial con respecto a la gestión de recursos en contextos de cambio climático. De este modo, el estudio de las innovaciones tecnológicas de los Incas permite vislumbrar la posibilidad para la aplicación de estas técnicas en la resolución de problemas actuales de cara al contexto del Antropoceno y la escasez de recursos.

CAPÍTULO I

LAS NOCIONES DE CULTURA Y TECNOLOGÍA PREMODERNA

En el mundo antiguo, es posible vislumbrar obras arquitectónicas de compleja envergadura, frente a las cuales puede resultar en gran parte controversial el considerar que se debieron emplear nociones científicas en su construcción. Las dificultades de considerar el uso de la tecnología por parte de civilizaciones antiguas tienen que ver con las nociones actuales de lo que implica el desarrollo científico y tecnológico. En vista de la actual revolución digital que permite el acceso a un volumen casi ilimitado de información, las necesidades prácticas de los seres humanos de la antigüedad contemplaron, más bien, las aplicaciones prácticas en la resolución de problemas cotidianos, como el acceso al agua para maximizar la producción de alimentos. Por este motivo, lo que se busca es revisar las nociones de ciencia en la actualidad para poder determinar qué características comprende y, de este modo, evaluar si es que estas características estuvieron presentes en el pensamiento y necesidades de los humanos de la antigüedad. De este modo, se pueden vislumbrar que rasgos como la observación o la experimentación fueron parte de las habilidades de los humanos antiguos y estuvieron presentes en las innovaciones científicas premodernas que estos emprendieron. Por ello, se contempla además la periodización de estas innovaciones científicas a fin de que se puedan comparar, más adelante, con el desarrollo tecnológico de las civilizaciones meso y sudamericanas.



1.1. El concepto de ciencia en la actualidad

Al revisar el desarrollo de las civilizaciones modernas, un aspecto que no se puede dejar de lado es aquel que considera el rol de los avances científicos en el auge de una determinada civilización. En la época actual, hasta donde las investigaciones académicas han podido determinar, se vive un periodo de expansión y desarrollo científico a escala global como no se tiene registro en la historia escrita. Los avances tanto en la gestión de recursos naturales, en la movilización de productos mercantiles a escala internacional, como en el desarrollo de las telecomunicaciones y de la gestión y producción de la información han determinado que el progreso de la ciencia en la civilización occidental no tenga precedentes. Esta situación, sin embargo, coloca a las sociedades modernas en una situación que tampoco tiene precedentes. En los últimos años, las discusiones en torno al cambio climático y al papel que ha tenido el hombre y la tecnología han despertado posturas polarizadas respecto de la responsabilidad que el tipo de desarrollo actual tiene sobre el clima y sobre sociedades en desarrollo y con escasos recursos. Si una persona del mundo antiguo pudiera contemplar estos debates, probablemente buscaría recurrir a su sistema de creencias mitológicas para poder explicar tanto el enorme grado de desarrollo alcanzado como las problemáticas en torno del cambio climático y del periodo del Antropoceno.

Por todas estas cuestiones es que se vuelve sumamente importante determinar la noción de desarrollo científico que la civilización actual considera como base para su desarrollo. La pregunta por estas nociones no resulta banal, pues sería la base del estudio de la concepción de ciencia o desarrollo que las civilizaciones anteriores a la nuestra pudieran haber tenido en la consecución de sus necesidades inmediatas. Esta pregunta, entonces, determina no solo el acercamiento que desde la actualidad se puede tener para el estudio del empleo de la tecnología en el mundo antiguo, sino que además puede ayudar a determinar el progreso de la civilización actual en la resolución de las problemáticas en torno al clima que debe atravesar.

De acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), existe una enorme brecha epistemológica entre la comprensión de la ciencia en la actualidad y aquella del mundo antiguo. Esta enorme brecha se puede explicar fácilmente por la distancia temporal que separa ambos periodos. Sin embargo, la brecha también tiene causas actuales y que se relacionan con la gestión del conocimiento en los centros de enseñanza actuales. De este modo, se tiene que

A pesar de que los académicos han establecido firmemente y desde hace mucho la naturaleza larga y multicultural de la historia de la ciencia, poco de estos esfuerzos han penetrado más allá de la conciencia de los especialistas. Estudiantes de Humanidades y de las Ciencias solo raramente son expuestos a esto. Incluso los cursos de historia de las ciencias en sí mismos tienden a permanecer abrumadoramente enfocados en el periodo moderno, por ejemplo, a partir de Copérnico en adelante. (Montgomery & Kumar, 2016, p. 3)

Esta concepción limitada y restringida de los estudios científicos puede acarrear consecuencias epistemológicas cuando se busca determinar la noción de ciencia en el estudio del mundo antiguo. Por un lado, motiva que el conocimiento del mundo antiguo quede restringido a un grupo disminuido de especialistas, quienes manejan nociones y perspectivas distintas del mundo antiguo y que difícilmente pueden ser compartidas con un público más general. Por otro lado, el modo en el cual se transmite la noción de ciencia en los espacios académicos tiende a reproducirse en su forma limitada a partir de los estudios por los orígenes del desarrollo de la ciencia moderna, sin que haya un mayor acercamiento al empleo de técnicas similares a nuestra actual concepción de ciencia por parte de quienes vivieron en la antigüedad. Finalmente, una consecuencia de este tipo de transmisión de la noción de ciencia es que puede afectar uno de los pilares del avance científico y que ha sido determinante en el actual grado de desarrollo de las ciencias. Y es que el desarrollo científico siempre se ha compartido entre distintas culturas y grupos sociales, nunca ha pertenecido a una sola cultura, raza o estrato social. Tampoco se ha restringido o ha pertenecido a un periodo de tiempo o a un espacio geográfico en particular, sino que, de acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), “las tradiciones científicas evolucionaron en todas las grandes civilizaciones del mundo desde un periodo muy temprano” (p. 3). Por todo ello, no se puede tener una concepción de la ciencia en la cual se coloquen limitantes espaciales o temporales, como el revisar un periodo de tiempo en particular o el considerar que determinado grado de desarrollo científico es superior a otro. El avance de la ciencia es, por definición, un acto social e inherente al desenvolvimiento de los grupos sociales, con lo cual, salvo las propias características particulares de una cultura, se ha efectuado en todas las épocas que ha desarrollado la especie humana.



Por todo ello, se podría delimitar la noción de ciencia que se empleará para poder explorar los avances tecnológicos que se efectuaron siglos atrás. De acuerdo con la Ley 28303, *Ley marco de ciencia, tecnología e innovación tecnológica*, se incluye un glosario de términos formulados por el Concytec (2018) en el cual está incluida la noción de ciencia que se reproduce a continuación:

Ciencia: Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento sistemáticamente estructurado y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente. La búsqueda de conocimiento en ese contexto se conoce como “ciencia pura”, para distinguirla de la “ciencia aplicada”, que consiste en la búsqueda de usos prácticos del conocimiento científico, y de la tecnología, a través de la cual se llevan a cabo dichas aplicaciones. La ciencia básica se convierte en ciencia aplicada cuando tiene una utilidad práctica. (El Peruano, 2018, p. 4)

Como se puede apreciar, la noción de ciencia definida en la legislación peruana, además de definirla como el conocimiento obtenido en base a procedimientos sistematizados, también incluye la noción de “principios y leyes generales”, los cuales, a su vez, son equiparables con la noción de teoría científica. Es decir, se trata de un sistema de explicación que busca dar cuenta de la realidad del mundo sensible, realidad que es observada constantemente, en forma diferenciada y por un conjunto multidisciplinario de académicos y científicos de todas partes del mundo. De este modo, de acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), uno de los aspectos más resaltantes de las teorías científicas es que, usualmente, “revelan nuevas formas de evidencia y nuevas interpretaciones de información previa” (p. 4). Es decir, el conocimiento científico, a pesar de producirse de acuerdo a parámetros sistematizados y homogenizados, no produce los mismos resultados, pues siempre se está encontrando nueva información y se adoptan nuevas perspectivas para, a su vez, producir nuevo conocimiento. Por todo ello, la noción de ciencia contemplada hasta ahora implica que las teorías que se producen como parte del proceso sistematizado del método científico nunca son estables. Evolucionan constantemente e involucran un número cada vez mayor de académicos de diversos contextos, todos ellos en la búsqueda de la generación del conocimiento en base al intercambio de ideas, método y resultados, la reproducción de procedimientos para validar o invalidar una determinada teoría o procedimiento; y el

abandono o modificación de conclusiones compartidas por la comunidad científica cuando estas se confrontan con nueva y más confiable evidencia. Estos tres rasgos, al determinar la producción científica actual, implican a su vez, como la noción, procedimientos y teorías científicas no son estables, pues tampoco lo es el desarrollo que esta disciplina ha tenido a lo largo del tiempo. Del mismo modo en que las teorías cambian, también lo hace la concepción del desarrollo científico y de lo que una cultura o civilización en particular considera que es ciencia. De este modo, una perspectiva que considere el desarrollo diferenciado de la disciplina tendrá que considerar el proceso histórico de la ciencia al momento de estudiar las manifestaciones premodernas de la ciencia en culturas y civilizaciones completamente ajenas a la propia. Más aún, el considerar el carácter multidiverso y en constante cambio de la disciplina permitirá entender que las diferenciaciones entre ciencia y preciencia, como se le ha llamado al empleo de técnicas consideradas por la civilización actual como una suerte de ciencia rudimentaria, carece de sentido, pues se estarían aplicando categorías modernas en una civilización que contemplaba objetivos prácticos e inmediatos ajenos a estas nociones. Por otro lado, la consideración por el aspecto cambiante y diverso de la noción de ciencia puede abrir la consideración del uso de técnicas, que en la actualidad podríamos calificar como científicas, en civilizaciones anteriores a la periodización del mundo moderno, de forma tal que se pueda rescatar el conocimiento producido por estas culturas en el desarrollo de la actual civilización.

1.2. Las ciencias premodernas

Debido a las enormes distancias temporales entre la civilización actual y aquellas que pertenecieron al mundo antiguo, es que resultaría imposible poder recuperar la noción que en ese entonces se tenía cuando las personas encargadas de realizar obras arquitectónicas o hidráulicas emprendieron tales labores. Se ha producido, entonces, una pérdida epistemológica que nunca se podrá recuperar del todo, con lo cual es importante reconocer que todos los intentos por recuperar el conocimiento tecnológico derivado de estas culturas serán, en última instancia, aproximativos.

Por ello, la aproximación que se deberá tener al momento de estudiar las manifestaciones tecnológicas de estas civilizaciones deberá centrarse, en primera instancia, en la evidencia recuperable. Esta evidencia se compone de los restos arqueológicos que dichas culturas han dejado tras de sí y que se pueden percibir en forma palpable. Templos, cerámica, espacios ceremoniales o, en forma más específica para el estudio en cuestión, acueductos y canales hidrológicos de



espacio abierto serán los elementos en los cuales se centrará el estudio de la tecnología empleada por estas culturas. Aspectos como los motivos o percepciones personales que los integrantes de estas civilizaciones hayan tenido con respecto a estas manifestaciones físicas solo podrán constituir conocimiento especulativo y aproximativo en vista de su naturaleza inmaterial, intangible y abstracta. Por todo ello, se puede considerar para el estudio de la ciencia premoderna el carácter práctico de estas manifestaciones física, en tanto que se acercan a la concepción actual de la ciencia aplicada. De este modo, se puede dejar de lado que en la concepción premoderna de la ciencia se haya tenido una noción que incorporara el desarrollo de estas manifestaciones como un fin en sí mismo, pues lo más probable es que, como indican Montgomery & Kumar (2016), la concepción de esta ciencia premoderna haya considerado “el conocimiento con propósitos humanos y metas sociales”. Así, con mayor seguridad se podría afirmar que el propósito de estas manifestaciones obedeció a necesidades inmediatas que tuvieron como propósito el resolver problemas de índole práctica. Se buscó entender el funcionamiento de las manifestaciones palpables de la realidad, como el movimiento de las estrellas, los ciclos solares y lunares, el cambio de las estaciones y, también, el flujo físico de los ríos y masas de agua. Lo que se busca comprender, entonces, son las formas de producción de dicho conocimiento práctico y las formas en las cuales este se manifestó en forma física y palpable.

Por otro lado, este tipo de conocimiento, al no tener manifestaciones abstractas, intangibles o perecibles, tampoco puede considerarse como arbitrario. Las evidencias físicas que su producción dejó obedecieron en todo momento a un propósito en particular. Es importante manifestar esto porque, por lo general, se suele tener la noción de que las evidencias físicas de las civilizaciones antiguas obedecieron a motivos marcadamente religiosos, con lo cual se puede poner en duda su practicidad y objetividad. Si bien los sistemas sociales religiosos, sociales, políticos y éticos que dieron origen a estas manifestaciones incluyeron elementos que podrían afectar nuestra sensibilidad racional, es importante reconocer que dichos elementos no interfirieron con el empleo de nociones racionales y matemáticas que, como se puede comprobar, dieron origen a restos arquitectónicos y de ingeniería altamente sofisticados. La noción que una cultura pudo tener en la antigüedad de que el universo se regía en base a un orden particular no resulta, en forma general, ajena a las concepciones actuales que se tienen respecto del electromagnetismo, las interacciones fuerte y débil, o la gravedad. Es decir, cada cultura delimitó leyes prácticas y funcionales respecto de cómo funcionaba el mundo en el cual se insertaban, y si bien estos sistemas de creencias no tuvieron, y no pudieron tener, el mismo grado de rigurosidad técnica y

teórica que se puede obtener en la actualidad, en su momento fueron altamente efectivos para paliar las diversas necesidades y problemas que se tuvieron que afrontar en ese entonces. En vista de esta necesidad práctica, los modos de resolución y planeación en el uso de tecnología para obtener recursos naturales, como en la agricultura o en el transporte de recursos hídricos, necesariamente implicó un esfuerzo compartido y de movilización de personas. Al ser este tipo de empresas actividades sociales es que el intercambio de técnicas e información no pudo dejarse de lado, lo cual motivó profundas influencias entre distintas culturas durante largos periodos temporales.

1.3. La observación y experimentación antes de la ciencia moderna

El desarrollo de una periodización de los avances tecnológicos en la antigüedad, en vista de las limitaciones tanto físicas como de información elementos a considerar, implica una selección de fuentes y de datos que puedan relacionarse en forma directa con los objetivos de la investigación. Por este motivo, se centrará la periodización en las culturas más antiguas de la que se tenga noticia, dejan otras manifestaciones tecnológicas de lado. Sin embargo, antes de delimitar el desarrollo de estas culturas, hay algunos aspectos a tomar en cuenta.

En principio, es necesario especificar qué tipo de actividades se pueden considerar como parte del desarrollo práctico de la ciencia del periodo premoderno. Como se vio anteriormente, resulta razonable considerar que el empleo de técnicas que en la actualidad se considerarían como científicas implica un conjunto de características de observación, recolección y análisis. Desde un inicio, se considera que la especie humana fue capaz de emplear técnicas de observación para la elaboración y sistematización de sistemas de creencias complejos. Las habilidades de observación empleadas, al centrarse en la resolución de problemas prácticos, buscaron recolectar información respecto del entorno en el cual la cultura se desarrolló, ya sea información del comportamiento animal o de su anatomía, información los ciclos vitales de las plantas que no representaban riesgos vitales por su ingestión, o información sobre los ciclos de la naturaleza que permitieran predecir dichos cambios. De este modo, es posible indicar que, además de las capacidades de información que evidentemente los antiguos seres humanos poseían, también se puede inferir que poseían capacidades para la experimentación y el ensayo y error. De este modo, de acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), se puede indicar que si bien las actividades de resolución de problemas prácticos en el periodo premoderno no se corresponden en forma estricta con los métodos de observación, hipótesis, experimentación y conclusión



contemplados en el método científico, sí es posible identificar elementos propios del desarrollo científico, como la observación y la experimentación, que forma parte de la aplicación práctica para la resolución de problemas inmediatos en el mundo antiguo.

1.4. Periodización del desarrollo de la tecnología premoderna

De acuerdo con Deming (2010), las primeras noticias que se tienen de la aparición de la especie humana ocurrieron en un periodo comprendido entre 4.6 y 6.2 millones de años atrás. Un rasgo que permite diferenciar que entre este periodo existió una divergencia entre los humanos y otros homínidos tiene que ver con el desarrollo de la habilidad para manejar herramientas sofisticadas de piedra, aunque estudios más recientes indican que este no solo ya es un rasgo compartido con los simios superiores, sino que la pedagogía del empleo de herramientas presenta distintos grados de complejidad (Musgrave, S. et al., 2019). Por este motivo, un rasgo más característico, además del empleo de herramientas, tiene que ver con el incremento de la capacidad cerebral en actividades complejas y abstractas, como la previsión de posibilidades futuras.

Durante el estadio inicial del uso de tecnología, este se puede catalogar en 3 etapas, diferenciadas: El Paleolítico bajo, el Paleolítico central y el Paleolítico superior. La primera etapa tomó lugar alrededor de 2.5 millones de años atrás. La segunda etapa, comparativamente, tomó lugar hace no mucho tiempo: hace 250 000 años atrás. Por último, el uso de herramientas de piedra más sofisticadas se puede encontrar en la última etapa del Paleolítico, hace 50 000 años. Además de la construcción de herramientas de piedra, se sabe que los primeros seres humanos emplearon el fuego mucho antes, alrededor de uno a dos millones de años atrás. Esto se puede explicar tanto por los registros físicos como también por el hecho de que el fuego constituye un fenómeno natural. Sin embargo, el descubrimiento de la combustión por parte de los primeros humanos implicó enormes esfuerzos de abstracción y experimentación. A la par que la construcción de herramientas de piedra complejas, la aparición del lenguaje se dio alrededor de hace 50 mil años atrás. La aparición de la escritura, sin embargo, se daría mucho después, junto con cambios sociales complejos de organización y gobierno.

La aparición de los primeros cultivos de cereales se dio hace unos 13 000 años, y se sabe que precedieron a la aparición de las primeras civilizaciones, hace unos 10 000 años. Esto se puede explicar por el hecho de que resulta mucho más práctica la gestión y administración de comunidades pequeñas como pueblos

o aldeas que la gestión de grupos humanos mucho más grandes y complejos. Sin embargo, se sabe que el desarrollo del sedentarismo en la aparición de las primeras comunidades humanas constituyó un fenómeno replicado en distintas partes del mundo alrededor del mismo periodo temporal. Ligada a las actividades de caza y de agricultura, el sedentarismo implicó también la necesidad por la organización de comunidades complejas mediante un tipo de autoridad central, lo cual daría pie a las primeras formas de gobierno. Hasta donde se tiene noticia, las primeras civilizaciones a gran escala aparecieron en el Medio Este alrededor del año 8000 antes de Cristo. Estas comprendieron las actuales Egipto y el área comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, en la actual Iraq. La principal ventaja que tuvo la aparición de las primeras civilizaciones fue el desarrollo de la acumulación de la producción de cereales para el almacenamiento en casos de escases. Además de esto, las diversas necesidades de administración y gestión social demandaron la aparición de las primeras profesiones especializadas, lo cual dio origen a diversos descubrimientos específicos para cada actividad. Por ejemplo, difícilmente un agricultor haya podido descubrir la elaboración del vidrio, pero un alfarero dedicado exclusivamente a la producción de cerámica tendría más posibilidades de mezclar silica derretida con minerales alcalinos para producir vidrio, pues estas actividades están contempladas dentro del espectro de posibilidades que ofrece su profesión.

De acuerdo con Deming (2010), se sabe que la primera ciencia en tanto actividad que comprende la observación, hipótesis, experimentación y recolección de información debió ser la astronomía. Esta actividad se relaciona con la principal necesidad práctica de la gestión de las civilizaciones, que es la producción de alimentos. Por medio de la predicción de los ciclos de las estaciones en base a la observación de los astros es que fue posible elaborar calendarios para administrar las actividades de siembra y cosecha de cereales y granos por medio de la predicción de los ciclos estacionales. La relación entre la astronomía y la agricultura se puede encontrar en los trabajos históricos de Hesíodo. En una cita recogida por Deming (2010) de Los trabajos y los días, Hesíodo explica que los granjeros deben regular sus actividades de acuerdo al comportamiento de las estrellas:

When Orion and Sirius are come into mid-heaven,
and rosy-fingered Dawn sees Arcturus, then cut off all
the grape-clusters, Perses, and bring them home ... but
when the Pleiades and Hyades and strong Orion begin
to set, then remember to plough (p. 10)



Más aún, la enorme preponderancia que tuvieron las actividades de agricultura en el desarrollo de las primeras civilizaciones determinó la necesidad por determinar derechos de propiedad. Se tuvieron que elaborar reglas de conducta para gestionar el uso de las tierras de cultivo y, con ello, la necesidad por el uso de registros perennes. Fue el inicio de los primeros textos escritos, elaborados en tabletas de arcilla, tanto para registrar reglas, normas y registros de propiedad, lo que más tarde daría pie a las primeras leyes y a la aparición de gobiernos. El primer conjunto de reglas y leyes sociales del que se tiene noticia es el Código de Hammurabi, el cual apareció entre el 2123 y el 2081 antes de Cristo. Este código contemplaba el registro de 282 artículos diferenciados de derecho de propiedad, negocios, familia, injurias y leyes laborales. Sin embargo, al considerar el contexto social en el cual este código está redactado, es posible determinar que no se trató de una innovación en su época, sino de la promulgación de un conjunto de leyes con larga data dentro de la sociedad mesopotámica.

Con respecto a las innovaciones tecnológicas que se efectuaron en las sociedades organizadas en civilizaciones, se tiene que estas se efectuaron en base a la organización de profesiones específicas para cada labor dentro de la sociedad. Una profesión que permitió un enorme grado de desarrollo tecnológico fue la alfarería, pues esta profesión desarrolló la tecnología de tablas de arcilla que luego sería empleada en la formulación de la escritura para el registro de excedentes de granos y registros de propiedad. También, permitió la aparición de los primeros registros comerciales, así como el desarrollo de la cerámica y, como se mencionó anteriormente, la invención del vidrio. Este es un ejemplo de cómo la división en distintas labores especializadas permitió la aparición de diversas innovaciones tecnológicas, ya sea en base al registro de caracteres como en el empleo diferenciado del material físico con que se dispone.

La aparición de las primeras piezas de ropa es difícil de determinar, pues estos productos constituyen bienes que perecen fácilmente y que se destruyen rápidamente con el paso del tiempo. Sin embargo, se ha determinado que la antigüedad de la tecnología empleada para producir piezas textiles data de al menos el 5000 antes de Cristo. También, se sabe que las primeras piezas de seda fueron fabricadas en China en el 3000 a. C. y que las primeras piezas de algodón datan del mismo periodo temporal. Además, es alrededor de este periodo que también se inicia la producción de los primeros metales. Entre estos, se sabe que se utilizaron el bronce, oro, plata y hierro recuperado de

meteoritos. La producción de oro también estuvo ligada a las prácticas de la época, ya sea para distinguir la posición social elevada de los gobernantes en base al uso de piezas de oro, como también al determinar castigos y sentencias en extremo duras. De acuerdo con Deming (2010), “El ser sentenciado a trabajar en las minas de oro egipcias era un destino peor que la muerte” (p. 12). Por otro lado, el empleo de los metales no se realizó en forma uniforme. Al principio no se empleaban técnicas de metalurgia especializadas, pero una vez que se desarrolló el refinado, fundición y modelado el cobre y el bronce, se pudo trabajar con metales más demandantes como la plata o el oro. La elaboración de técnicas de metalurgia, alrededor del año 1200 antes de Cristo, daría paso a la Edad de Hierro en el Medio Este.

Por último, el desarrollo de técnicas sofisticadas de ingeniería, al ser aplicadas a las necesidades de producción de alimentos para la supervivencia de las primeras civilizaciones, daría paso a la construcción de los primeros canales, sistemas de irrigación, templos y murallas defensivas, logradas en base al desarrollo del cálculo de volúmenes, áreas y ángulos por medio de fórmulas matemáticas.

1.5. El desarrollo de la tecnología hidráulica en la antigüedad

De acuerdo con Mays & Gorokhovich (2010), el empleo de la tecnología hidráulica data de mucho antes de los estudios emprendidos durante el renacimiento. Tanto así que el empleo de técnicas hidráulicas se puede remontar a antes de los estudios de Arquímedes, entre el 287 y el 212 antes de Cristo. Como se vio anteriormente, el desarrollo de la hidráulica se relaciona con el empleo de la agricultura y con las necesidades de las primeras civilizaciones por satisfacer necesidades básicas de alimentación y de salubridad. Sin embargo, es posible encontrar trabajos de ingeniería del agua que datan de mucho antes de Arquímedes. Así, se han encontrado trabajos de irrigación en centros poblados de Mesopotamia durante la Era Neolítica, entre el 5700 y el 2800 antes de Cristo. Estos trabajos de irrigación contemplaron la construcción de túneles, pozos y en pocos casos la construcción de represas de agua, como la represa de Nimrud, construida alrededor del río Tigris. Otro ejemplo del desarrollo de tecnologías hidráulicas lo constituye el *shaduf*, empleado en Mesopotamia alrededor del 2300 antes de Cristo y que se empleaba para levantar fácilmente cargas de agua, tal y como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 1.
Ejemplo de Shaduf



Nota: Figura tomada de Mays & Gorokhovich (2010).

El uso del *shaduf* como dispositivo para la obtención del agua puede constituir un ejemplo del modo en que los avances tecnológicos son compartidos de una civilización a otra, durante distintos periodos temporales. Al respecto, se tiene que esta tecnología, tras su aparición en Mesopotamia, se trasladada luego a Egipto en el 1570 a. C. y, posteriormente, fue empleada por los romanos cuando estos ocuparon la región, alrededor del año 30 a.C. Gracias al empleo de esta tecnología es que se pudieron desarrollar técnicas de irrigación para las cosechas que se ubicaban cerca del margen de los ríos en periodos de calor extremo, de forma tal que las cosechas dejaron de estar determinadas en gran parte por el ciclo de las estaciones y los granjeros tuvieron un mayor control sobre la producción de alimentos.

El acceso al agua está cercanamente vinculado con el desarrollo de ciudades y centros urbanos de la antigüedad. Puede ser un indicador del grado de sofisticación que presenta una localidad, así como también puede explicar los motivos por los cuales una civilización pudo desaparecer. De acuerdo con Mays & Gorokhovich (2010), el acceso al agua puede ser indicador del grado de desarrollo en el acceso al agua, de forma tal que se puede transformar el entorno para satisfacer las necesidades humanas. Este fue el caso de una de las primeras civilizaciones de la Edad de Bronce, Mohenjo-Daro, la cual se ubica en el valle del Indu a 400 kilómetros de la actual Karachi, en Pakistán. Su construcción comenzó en el 2450 a.C. y, de acuerdo con Jansen (1989), esta constituyó un esfuerzo deliberado de hidráulica que buscó transformar el entorno semiárido de la región para proveer a la mayor parte de la población de agua. De acuerdo con las investigaciones efectuadas en esta localidad, se han encontrado cerca de 700 pozos que presentan una frecuencia de 1 por cada 3 casas, los cuales se construyeron efectuando ladrillos en forma circular, posiblemente bajo la influencia de la población Harappan cercana a esta localidad. De este modo, la relativa frecuencia en la cantidad de pozos presentada en Mohenjo-Daro constituye uno de los principales indicadores de transformación de entornos medianamente poblados por medio de la hidráulica. Otro ejemplo de esto lo constituyen los baños encontrados en cada una de las casas, lo cual indica que existió un consumo frecuente del agua y que gran parte de la población, si no toda, tuvo acceso a este recurso. Por último, de acuerdo con Jansen (1989), se tiene el gran baño público de Mohenjo-Daro, el cual tenía un área de 1700 metros cuadrados y contaba con una piscina de 12*7*2.4 metros. Para poder abastecer de agua a este complejo arquitectónico se elaboró un sistema de drenaje basado en una red de drenajes efluentes, los cuales se construyeron a lo largo de las calles de la ciudad. De acuerdo con Mays & Gorokhovic (2010), este sistema de drenaje se ubicaba a lo largo de un lado de la calle y tenía una forma de U con una profundidad aproximada de entre 50 y 60 centímetros. Fue construido empleando ladrillos de arcilla con cubiertas fabricadas por otros ladrillos o tablas, de forma tal que estas cubiertas pudieran ser fácilmente removibles para poderse limpiar fácilmente. Un ejemplo de este sistema de drenaje, así como de los pozos que frecuentaban los pobladores, se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 2.

Pozo y sistema de drenaje de Mohenjo-Daro



Nota: foto tomada de Gagnon (2013)

Sin embargo, el abundante acceso al agua por medio de las obras de hidráulica también constituye un asunto de manejo del poder político que, de no ser apropiadamente gestionado, puede representar la caída de una civilización. Este constituyó el caso de uno de los primeros centros urbanos de Mesopotamia, Uruk, el cual tuvo su periodo de mayor apogeo entre el 3800 y el 3200 a.C. Sin embargo, a partir del 3100 a.C., las actividades comerciales de la ciudad dejaron de ser frecuentes, posiblemente, de acuerdo con Freeman (2004) porque los suministros de agua de la ciudad empezaron a desaparecer o porque empezaron a escasear las tierras disponibles para el cultivo. Sin embargo, Mays & Gorokhovich (2010) señalan que “La destrucción de Uruk estuvo más probablemente conectada a la aparición de muchas pequeñas ciudades estado que desarrollaron, cada una, su propio acceso al agua y a la tierra circundante” (p. 6). De este modo, si bien el acceso al agua puede representar una oportunidad para el desarrollo de una civilización al poder transformar el territorio en que se ubica, también puede significar la posibilidad para su desaparición si la tecnología con que esta cuenta es empleada con otros grupos humanos. El intercambio de información, de por sí, constituye un hecho del desarrollo científico más allá de sus implicancias políticas y sociales. Depende de los grupos humanos el establecer acuerdo para que este intercambio pueda beneficiar a la mayor cantidad de personas posible.

CAPÍTULO II

LA GESTIÓN DEL AGUA EN LAS CIVILIZACIONES PRECOLOMBINAS

Como se vio en la sección anterior, el empleo de la tecnología, si bien no contempló el uso de las mismas categorías y nociones presentes en la actualidad, estuvo presente tanto en las innovaciones tecnológicas de los pueblos antiguos como en la resolución de la falta de acceso al agua para el uso doméstico o sanitario. El empleo de esta tecnología, sin embargo, también estuvo presente en las civilizaciones que emergieron del continente americano, a pesar de que en el imaginario popular de la caracterización de estas civilizaciones se enfatizan rasgos de barbarismo como los sacrificios humanos. De este modo, lo que se busca en esta sección es la descripción de las innovaciones en ingeniería hidráulica de estas poblaciones tomando en cuenta el componente ritual y religioso asociado tanto a la gestión del agua como a la organización social y jerárquica que presentaron. Como se verá más adelante, el empleo de ritos, símbolos y la determinación de jerarquías sociales giraron en torno a la disponibilidad del agua y estuvieron determinadas por complejos sistemas de creencias que en ningún momento entraron en conflicto con el empleo de la tecnología en la construcción de canales o templos dedicados al agua. Lo que se tiene es, más bien, que se aplicaron nociones tecnológicas para sustentar y reiterar el sistema de creencias construido en torno al simbolismo del agua, ya sea para distribuir este recurso a la mayor cantidad de la población como para ejercer un control político sobre esta.



1.1. El desarrollo de la tecnología en las civilizaciones precolombinas

Contrario a la opinión popular hasta inicios de la década de los años 90, la aparición de las civilizaciones precolombinas se efectuó casi al mismo tiempo que las primeras civilizaciones del Medio Este, salvo obvias diferencias que se verán más adelante y que responden tanto a las necesidades inmediatas de las poblaciones americanas como a la diferencia en el acceso a la influencia entre culturas. Sin embargo, es posible realizar una periodización del desarrollo de estas civilizaciones a fin de analizar sus semejanzas y diferencias respecto de aquellas de Europa y del Medio Oriente.

De acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), el territorio americano parece haber sido el último continente en haber sido habitado por seres humanos. Existe una falta de consenso respecto del periodo temporal en que los primeros seres humanos cruzaron el estrecho de Bering, pero se suele afirmar que el periodo temporal en el cual se llega a América se comprende entre 35 mil y 40 mil años atrás. Sin embargo, se sabe que las primeras tribus que colonizaron el continente lo hicieron hace 15 mil o 17 mil años atrás. Con respecto a la aparición de poblaciones en Sudamérica, los primeros registros indican que esta data de hace 14 mil años atrás. La catalogación de estos espacios temporales, en los cuales los subcontinentes de Norteamérica y América Central se poblaron antes que Sudamérica, refuerza la teoría de que las etapas de colonización del continente obedecieron al traslado de las poblaciones humanas desde el estrecho de Bering hasta la actual Patagonia de Chile. Aun así, la enorme distancia que separa los tres subcontinentes no pareció constituir un impedimento para el rápido establecimiento de estas poblaciones, pues se sabe que esta primera colonización tomó lugar en un lapso de 1500 años.

Dentro del lapso que se ha considerado para el auge y caída de las civilizaciones prehispánicas, se tiene que estas comenzaron alrededor del año 7000 a.C. y declinaron con los procesos de descubrimiento y colonización del continente por parte del Imperio español. En este lapso de tiempo, se considera una periodización en 5 etapas, la cual es delimitada por Montgomery & Kumar (2016) del siguiente modo:

1. Periodo Arcaico (7000-1500 a.C.): Toma lugar después del Último Periodo Glacial (que comprende entre el 115 000 y el 11 700 a.C.) y se caracteriza por la domesticación de animales pequeños y plantas, frente al colapso de la población de mamíferos grandes como los Mamut debido a la caza indiscriminada y al cambio climático. Alrededor del 3000 a.C. se empieza en la región el

cultivo de maíz y de diversos cereales. Esta caracterización, sin embargo, no es uniforme, pues se tiene noticia de la construcción de enormes centros ceremoniales dentro de este periodo. Un ejemplo de ello lo constituye la ciudadela de Caral, en Perú, la cual surgió hacia el 3500 a.C., dentro de este periodo.

2. Periodo Preclásico (1500-150 a.C.): También llamado Periodo Formativo, este se caracteriza por los importantes cambios sociales y demográficos como producto de la rápida producción en la agricultura. De este modo, se establecen redes de conexión entre diversos poblados que buscan establecer redes comerciales. Más adelante, estas redes de intercambio darían paso a civilizaciones complejas. Un ejemplo de ello es la cultura Olmeca, cuyos centros arquitectónicos se construyeron alrededor del 600 a.C.
3. Periodo Clásico (150-900 d.C.): Este periodo constituye, en promedio, la etapa de más alto desarrollo cultural alcanzado por las civilizaciones mesoamericanas. Es el periodo en el cual se alcanza un alto grado de desarrollo tecnológico que permite la implementación de la arquitectura urbana, el crecimiento demográfico acelerado, y un sistema tanto político como económico al cual se adhiere la mayor parte de la población para su administración y control. Surgen las primeras profesiones debido a la estratificación de la población y se elaboran sistemas de creencias complejos que son sustentados por instituciones gubernamentales religiosas.
4. Periodo Posclásico Temprano (900-1250 d.C.): Constituye un periodo de transición hacia el inicio del colapso de las civilizaciones prehispánicas en vista de que el grado de desarrollo tecnológico y urbano empieza a decaer. El crecimiento poblacional, junto con la escasez de recursos, motivan el deterioro de los patrones de vida normalmente sostenidos por estas civilizaciones. Se efectúan migraciones, conflictos y fortificaciones de los centros urbanos que motivan el incremento del control poblacional por medio de la militarización para hacer frente a la gestión escasa de recursos y a los efectos del calentamiento global.
5. Periodo Posclásico (1250-1519 d.C.): Constituye un periodo de incremento de los estados militarizados que comenzaron a surgir en el periodo anterior. Se incrementa, además, la secularización de la población que motiva el surgimiento de figuras de autoridad que se oponen al sistema de creencias de la población. Es en este periodo en que surgen las grandes civilizaciones como la Azteca y la Inca.



Sin embargo, como se adelantó previamente, la periodización empleada solo sirve para establecer una guía aproximada del proceso de desarrollo de las civilizaciones mesoamericanas, con lo cual es posible encontrar diferencias particulares, como lo constituyó el caso de Caral, en Perú. A pesar de esto, hasta la década de los años 90 se tuvo la noción de que el desarrollo civilizatorio en América no tuvo el mismo grado de complejidad que el de otras cultural del Viejo Mundo que se desarrollaron durante el mismo periodo (o incluso después). De este modo, se tiene que “Por muchas décadas, las civilizaciones meso y sudamericanas fueron vistas como más primitivas que aquellas en Eurasia” (Montgomery & Kumar, 2016, p. 254). Sin embargo, este no fue el caso, dado que el grado de desarrollo de estas civilizaciones dependió tanto del contexto histórico-geográfico en el cual surgieron como de los rasgos propios de cada una. De este modo, entre el 4000 a.C. y la llegada de los españoles, se tiene que las civilizaciones meso y sudamericanas que alcanzaron un mayor grado de complejidad fueron las Olmeca, Maya, Azteca e Inca. El grado de desarrollo civilizatorio de cada una de ellas responde al hecho de que lograron implementar “jerarquías sociales complejas, instituciones económicas, un sistema político definido, centralizaron el poder del territorio en una o más capitales urbanas, desarrollaron arte sofisticado, alcanzaron un alto grado de tecnología y sistemas altamente productivos de agricultura” (Montgomery & Kumar, 2016, p. 254).

Sin embargo, el grado de desarrollo de estas civilizaciones presentó diferencias con respecto al de las civilizaciones de Eurasia. Por un lado, estas dependieron de herramientas desarrolladas durante el periodo paleolítico, sin que las técnicas desarrolladas durante la Edad de Hierro tuvieran un impacto significativo en la vida cotidiana de sus habitantes. Es decir, desarrollaron herramientas y utensilios metálicos, pero estos se emplearon mayormente en ceremonias y ritos religiosos, sin que se haya encontrado hasta ahora un empleo masificado y productivo de la metalurgia para actividades cotidianas. Esto también se aplica para el caso de la rueda. Parece ser que su empleo no tuvo la misma importancia que en otras civilizaciones para el transporte. Con respecto a la tecnología marítima, parece ser que tampoco tuvo mucha relevancia en estas culturas hasta la llegada de los Incas entre los siglos XII y XVI. Sin embargo, la carencia o uso no extendido de estos elementos no responde a que estas civilizaciones no tuvieran grados complejos de administración, tecnología o pensamiento abstracto. Significa que, para la resolución de sus problemas inmediatos, estos avances simplemente no tuvieron relevancia o utilidad práctica en el entorno y contexto social en que se ubicaron. Como se vio en la sección anterior, la noción de ciencia considerada implica la aplicación práctica en la solución de dificultades. De este modo, las



diferencias que dichas culturas pudieron tener con otras obedecen, en mayor medida, más a sus preocupaciones inmediatas que al grado de sofisticación que, en efecto, sí alcanzaron.

Otra diferencia entre las civilizaciones meso y sudamericanas con respecto a las de Eurasia tiene que ver con la diversidad cultural que ambos grupos experimentaron. A pesar de que en América se establecieron importantes rutas comerciales y centro de comercio, el grado de diversidad cultural parece haber sido, por lo menos distinto del de las civilizaciones de Eurasia. Como indican Montgomery & Kumar (2016), algunos factores que se deben tomar en cuenta al comparar ambos tipos de desarrollo tienen que ver, primero, con el hecho de que existe una enorme barrera oceánica que separa América del viejo continente. De este modo, se tiene que “todo lo inventado por las personas del Nuevo Mundo era autóctono e independiente” (Montgomery & Kumar, 2016, p. 256), es decir, el grado de intercambio cultural al que las civilizaciones meso y sudamericanas tuvieron acceso resultó, por lo menos, distinto en base a la separación que suponen los océanos Pacífico y Atlántico. Por otro lado, otro factor a considerar lo constituye el hecho de la conquista española y de los efectos que esta tuvo respecto del desarrollo de estas culturas. Sin embargo, algo que no suele considerarse respecto a este punto es el grado de influencia que el descubrimiento de América tuvo en el desarrollo de la ciencia y tecnología europeas. Si bien la llegada de los españoles al Nuevo Mundo supuso el quiebre de las civilizaciones americanas, además de la introducción de toda una nueva concepción cultural que motivó un grado de implementación social, religioso y tecnológico ajeno al devenir natural del continente, también es posible indicar que la interacción entre europeos y americanos supuso la introducción de innovaciones tecnológicas en el Viejo Mundo que, de no ser por la conquista, hubiesen sido imposibles. De este modo, se revisaron los antiguos textos científicos europeos para contrastarlos con las innovaciones naturales y tecnológicas americanas, de forma tal que se tuvieron que realizar importantes ajustes. Se introdujeron plantas y medicinas nuevas, nuevas especies de animales con composición y propiedades previamente desconocidas, se corrigieron textos de la antigüedad recuperados en el Renacimiento, como la aseveración de Aristóteles de que la vida en los trópicos de la Tierra debía ser imposible por el calor extremos que, aparentemente, presentaba. Los tratados de geografía debieron recomponerse en vista del descubrimiento del nuevo continente, entre otras innovaciones. De este modo, si bien la conquista española de América supuso la destrucción de las grandes civilizaciones que habitaron



en ella, también implicó un enorme grado de desarrollo científico en base a los nuevos descubrimientos que se realizaron a partir de su inclusión dentro del saber letrado de la época.

Por otro lado, de acuerdo con Montgomery & Kumar (2016), el desarrollo de las civilizaciones americanas también guardó similitudes con el proceso emprendido en aquellas pertenecientes a Eurasia. Un hecho que parece ser fundamental para el origen de cualquier cultura parece ser la aparición de la agricultura, pues tanto en Europa, Asia y América parece haber constituido una innovación altamente práctica en la satisfacción de la alimentación de grandes grupos humanos. Del mismo modo, el creciente grado de innovación en las técnicas de agricultura parece haber llevado, tanto a las civilizaciones de Eurasia como a las americanas, a desarrollar culturas complejas con sus propios ritos, sistemas de administración y de creencias. Del mismo modo, un elemento que tradicionalmente parece haber diferenciado a las culturas americanas, como lo fueron los ritos de sacrificio, también se pueden encontrar en las civilizaciones de Asia y de Europa. De este modo, se tiene noticias de sacrificios humanos en la dinastía Shang en China, en las historias del Antiguo Testamento hebreo, en algunos pasajes de la Ilíada, etc. Como se ha podido apreciar, las semejanzas entre ambos tipos de culturas llevan a pesar que las diferencias más resaltantes entre ambas parecen haberse producido por factores externos a las capacidades de cada una de ellas, como lo puede ser la separación de América con Europa respecto del grado de diversidad cultural al cual las civilizaciones americanas estuvieron expuestas. Aun así, estas culturas pudieron desarrollar importantes innovaciones científicas que buscaron paliar sus necesidades inmediatas. En lo que sigue, se detallan algunas de las características del desarrollo tecnológico con respecto a la hidráulica en las culturas americanas para, más adelante, centrar la atención en el caso de aquellas que se desarrollaron en el actual Perú y determinar si sus capacidades hidráulicas son comparables con el grado de desarrollo alcanzado en la actualidad.

1.2. Gestión del agua y economía política en el Periodo Formativo

En tanto recurso de uso masivo para toda una población, la gestión en el uso del agua en las civilizaciones mesoamericanas implicó variables de índole social que influyeron de forma directa en la administración de este recurso. De este modo, de acuerdo con la propuesta de Nichols (2006), es posible que, con la expansión de la población en estas civilizaciones, se hayan producido procesos de



estratificación social que influyeron en forma directa tanto en la gestión del agua como en la producción agrícola para la incorporación de innovaciones tecnológicas, de forma tal que, con el incremento en las responsabilidades de administración de las poblaciones, y en base al prestigio social vinculado a esta actividad, se tuvo la necesidad por incorporar innovaciones tecnológicas que permitieran una administración del agua más eficiente en vista de dichas necesidades demográficas y sociales.

En principio, se tiene que, del mismo modo en que el tipo de desarrollo científico en estas sociedades estuvo fuertemente ligado a la aplicación práctica de los avances tecnológicos, pues lo mismo puede decirse, en mayor medida, con respecto a la administración tanto de los recursos disponibles por parte de un centro poblado, como de la composición demográfica de las poblaciones a quienes se busca mantener bajo control. De este modo, un rasgo a rescatar es el hecho, de acuerdo con Scarborough (2003), de que la administración de los recursos hídricos recayó bajo la responsabilidad de una autoridad plenamente constituida y encarga de tomar decisiones respecto a su gestión. Sin embargo, como indica Nichols (2006), el control centralizado de los recursos suele presentarse en civilizaciones plenamente constituidas, con lo cual resulta raro encontrar estas formas de gobierno en poblados iniciales durante el Periodo Formativo. En las poblaciones de este periodo, es más usual encontrar gobiernos locales que puedan gestionar en forma directa las necesidades administrativas de poblados pequeños. Sin embargo, en los casos en los cuales, más adelante, intervenía el gobierno central, por lo general se trataba de situaciones en las cuales se debían tomar medidas de emergencia al largo plazo, como podía ser la escasez de agua.

Por otro lado, parece haber una relación directa entre el recojo de los excedentes de la producción agrícola y el estatus social de quienes se encargaban de gestionar estas labores. De acuerdo con Nichols (2006) (quien sigue la propuesta de Brookfield, 1972), parece haber procesos de diferenciación social que se relacionan con la adopción de innovaciones en los procesos de agricultura. De acuerdo con esto, las innovaciones tecnológicas que permiten obtener mayores excedentes de la producción agrícola motivan, a su vez, que dichas actividades de agricultura se intensifiquen para, así, poder captar mayores excedentes de la producción. De este modo, las clases sociales altas encargadas de la gestión de la agricultura tienen mayores excedentes con los cuales pueden no solo establecer nuevas redes y conexiones de comercio, sino que también pueden incrementar su estatus social. De este modo, se tiene que “Sistemas sociales de diferenciación dependen de la creación y movilización de excedentes de la agricultura y son en



sí mismos un estímulo para la producción de excedentes” (Nichols, 2006, p. 54). La obtención de estos excedentes podía obedecer a diferentes propósitos, pero la motivación principal consistía en financiar diferentes actividades para la obtención de favores políticos, autoridad o alguna forma de poder. De este modo, el desarrollo de técnicas innovadoras para la agricultura, dentro de las cuales se contemplaba la implementación de técnicas hidráulicas para incrementar el riego de sembríos o el almacenamiento de agua, obedecía también a fines políticos dentro de las dinámicas sociales de las civilizaciones mesoamericanas. Estas actividades, además, no son propias del Periodo Clásico, en el cual se acuerda que surgieron las principales civilizaciones meso y sudamericanas, sino que también se puede encontrar en el Periodo Formativo, en el cual ya se empiezan a establecer redes estratégicas de poder.

El considerar el origen de las innovaciones tecnológicas e hidráulicas como parte de las redes de intercambio comercial motivadas por la posibilidad de ascenso social constituye un enfoque práctico y verosímil que explica la aparición de técnicas hidráulicas en base a las necesidades inmediatas de las personas a cargo de estas actividades. De este modo, se puede enfatizar la importancia que en el desarrollo de la tecnología mesoamericana tuvo el estrato social, el excedente de producción y la movilización y adopción de innovaciones técnicas. Además de estas variables, Nichols (2006) resalta el papel que jugaron las estructuras sociales institucionalizadas y hereditarias que perpetuaban la situación de desigualdad social. Dado que los pobladores de clases sociales bajas no podían ascender socialmente en vista de que el sistema de creencias del contexto particular en que se encuentra no se lo permite, se vuelven necesario el desarrollo de técnicas y de relaciones sociales beneficiosas para acceder a recursos que, normalmente, estarían restringidos o velados en vista de estas estructuras sociales.

Este punto se vuelve sumamente pertinente cuando se considera que el incremento en las diferenciaciones sociales durante este periodo se debe relacionar no solo con la intensificación en la agricultura, sino con las innovaciones que permitieron la transformación de terrenos alejados en base a las técnicas de irrigación. En vista de que, conforme se desarrollan los espacios urbanos en estas civilizaciones también empiezan a escasear las tierras de cultivo, el empleo de la irrigación permite no solo el abastecer grandes extensiones de terreno, sino también el traslado del agua hacia regiones alejadas que puedan escapar del escrutinio del gobierno central, el cual no solía inmiscuirse en estos asuntos a menos que implicaran temas de emergencia. De este modo, el uso de técnicas de irrigación, al permitir el traslado del agua a regiones alejadas, permitió a su vez

el incremento del estatus social de aquellos con acceso a estas técnicas en el establecimiento de redes de intercambio de productos. De este modo, se tiene que:

La irrigación incrementa la productividad y regularidad tanto de la subsistencia como de la producción casera y social. [...] el desarrollo de la estratificación depende de la habilidad de los agrandadores [quienes buscan incrementar su estatus social] y de sus grupos de control para gestionar recursos restringidos espacialmente. Debido a la distribución restringida de las tierras de irrigación y de las fuentes de agua [...] la irrigación creó nuevas oportunidades para manipular aquellos recursos productivos “espacialmente restringidos”. (Nichols, 2006, p. 56)

Estas innovaciones tecnológicas en la gestión del agua permitieron el incremento del estatus social de aquellos que las aprovecharon por medio del intercambio de bienes, el cual constituía una actividad de obtención del prestigio social en Periodo Formativo. De acuerdo con Taube (2000), un aspecto fundamental en las ceremonias que se efectuaban como parte de las actividades de gestión del agua era la exposición del excedente social y de la fortuna. De este modo, dado que la exposición de los bienes materiales constituía un elemento importante en el posicionamiento social de los sujetos, implicó además el estímulo necesario para el desarrollo de técnicas hidráulicas en la obtención de más recursos para poder alcanzar un estatus social elevado. Estas necesidades, al ser de naturaleza práctica, implicaron la aplicación activa de técnicas científicas para su adecuada resolución.

1.3. La gestión del agua y los rituales en la sociedad Maya

Como se vio en la sección anterior, la gestión del agua se pudo vincular con las prácticas sociales de ejercicio del control social en la obtención de excedentes de producción que incrementen el estatus social de la clase dominante. Este tipo de convenciones sociales, sin embargo, dependían del control ejercido por la autoridad central del gobierno, quien era la instancia que investía de prestigio social a las prácticas de intercambio de excedentes de producción. Además, como también se vio, dichas prácticas, y el desarrollo de técnicas hidráulicas en la obtención de estos bienes, se encontraban ligadas a contextos en los cuales el control del gobierno central determinaba los límites territoriales de los espacios de



cultivo. Y si bien la presencia física de los representantes del gobierno central no era frecuente, el poder ejercido por ella no dejaba de tener una enorme influencia en las prácticas sociales de estas poblaciones durante el Periodo Formativo.

Por otro lado, durante el periodo clásico de la civilización Maya, la gestión del agua y de los recursos, así como de la tecnología empleada en estas comunidades, no estuvo desligada de los elementos religiosos que, como se sabe, estuvieron fuertemente presentes en las actividades diarias de estas civilizaciones. De acuerdo con Konen (2006), el ritual y los elementos religiosos en las poblaciones mayas fueron de suma importancia para la organización social, la gestión de recursos hídricos y la demarcación de límites territoriales que no podían ser establecidos por medio de la escritura. Este componente religioso en la organización de la civilización maya parece estar ligado, además, con la composición del entorno geográfico en que se desarrolló. Se sabe que el espacio geográfico que ocupó comprende la actual península de Yucatán y los territorios de Guatemala y Belice, así como porciones de Honduras y El Salvador. Este territorio, como una de sus características principales, suele determinar que los recursos hídricos se encuentren bastante dispersos uno del otro. Por otro lado, otra característica es que el periodo de lluvias suele estar fuertemente delimitado por el ciclo de las estaciones, lo cual debió obligar a los pobladores a desarrollar sus actividades de obtención de este recurso considerando estos ciclos estacionales.

Además, y a diferencia del inicio de las civilizaciones mesoamericanas durante el periodo formativo, los recursos naturales de suma importancia parece que no estuvieron fuertemente controlados por un gobierno central administrativo, sino que la gestión de estos recursos, entre ellos el acceso altamente disperso del agua, parece haber recaído en la gestión de comunidades pequeñas pero altamente desarrolladas que se repartieron la administración de estas poblaciones con poca presencia del gobierno central. En este punto, se puede establecer un vínculo entre el surgimiento de comunidades de gobierno autónomo y el alto grado de dispersión de los recursos hídricos, pues resultaba mucho más práctico que diferentes comunidades se asentaran en estos puntos dispersos que el reunir a toda la población en un solo punto, en el cual se deba trasladar el agua de diferentes espacios a uno solo. Este tipo de organización poblacional, ligada a la disponibilidad del agua, parece haber motivado un tipo de organización religiosa en la cual surgieron santuarios que representaban a las instituciones encargadas de la gestión de los recursos para la agricultura y que, además, servían para delimitar las fronteras territoriales y los reclamos por el uso de la tierra entre las distintas comunidades autónomas.

Para poder delimitar el vínculo entre los rasgos topográficos de la región y el empleo de elementos rituales en la gestión de recursos hídricos, se debe considerar, en primer lugar, los rasgos particulares del terreno. De acuerdo con Sarborough et al (1999), gran parte de las tierras bajas en que se asentó la población de la civilización Maya era bastante plana, y no estaba rodeada o cercana a ríos de gran envergadura. Estos rasgos topográficos motivaron el desarrollo de técnicas de irrigación que buscaron captar el agua contenida en fuentes pequeñas y dispersas. Por otro lado, estos rasgos también motivaron la construcción de reservas de agua o la manipulación del caudal de los ríos. En vista de la escasez de agua en esta región, se tuvieron que elaborar, como medida de control social, un sistema de creencias religioso que pudiera explicar la articulación topográfica de este recurso y que además motivara el control social en vista de la organización dispareja de la población en pequeñas comunidades autónomas. De este modo, de acuerdo con la propuesta de Konen (2006), se tiene que “el estatus socioeconómico alto de los fundadores de la comunidad, expresado en forma más visible en la arquitectura de las residencias, se basó en el acceso al mayor número o a la más alta calidad de los recursos de producción” (p. 105). De este modo, la composición espacial del acceso al agua determinó no solo el sistema de creencias de estas comunidades, sino que además sirvió como un mecanismo de control de estos recursos que se basó en la antigüedad y el prestigio de los residentes más prestigiosos de la comunidad para poder administrar mejor estos recursos y así, además, establecer redes de intercambio entre las diferentes comunidades autónomas, siempre actuando bajo este sistema de creencias. Más aún, se sabe que el ordenamiento social disperso de estas comunidades autónomas, dentro de su sistema de creencias, buscaba replicar el orden universal dentro de la estructuración de la sociedad maya, de forma tal que las capitales mayas buscaban establecer un paralelo entre el macrocosmos del universo y el microcosmos del mundo humano. Este tipo de ordenamiento les permitía a los pobladores, además, el justificar la existencia dispersa de los recursos hídricos, al compararlos con el ordenamiento disperso de los astros en el universo. Como se mencionó anteriormente, una de las primeras ciencias que emergieron del establecimiento de las primeras civilizaciones fue la astronomía, pues permitía predecir los ciclos de las estaciones en la mejor gestión de los alimentos. De este modo, la astronomía también jugó un papel importante en la determinación de la organización social maya en relación con la disponibilidad de los recursos hídricos que tenía a su disposición y que determinaron el empleo de rituales en base, también, de este recurso. Por último, con respecto a los rituales.



1.4. Rituales y simbolismo del agua en la cultura Maya

Como se vio en la sección anterior, la gestión del agua estuvo fuertemente ligada a ritos religiosos que determinaban los usos administrativos de los recursos agrícolas, como la delimitación de terrenos para los sembríos por medios de santuarios de ancestros. Sin embargo, los rituales asociados al agua en la cultura Maya van más allá de las cuestiones administrativas. También pueden ser indicadores de nobleza y estatus social por medio de símbolos específicos relacionados con la calidad del agua que se dispone. Como se vio anteriormente, las tierras bajas en que se desarrolló esta civilización presentaban periodos de sequías que obligaron a las comunidades autónomas a elaborar canales de irrigación entre las fuentes dispersas de agua. La disposición del agua en estos periodos resultaba, pues, escasa, con lo cual estos pobladores desarrollaron una perspectiva en particular sobre la calidad del agua de que disponían. Al ser un bien escaso, la calidad del agua era en extremo valiosa, con lo cual se debían identificar reservas que garantizaran esta calidad. De acuerdo con Lucero (2006), esto fue posible gracias a la presencia de lirios de agua (*Nymphaea ampla*). Se sabe que estos lirios son plantas hidrofíticas sensibles que solo pueden desarrollarse en agua fresca y limpia, alcanzando una altura que varía entre 1 y 3 metros de profundidad. Por este motivo, los lirios de agua fueron en extremo apreciados por las comunidades mayas al ser un indicador de agua limpia y desarrollaron toda una simbología ritual y de estatus social en torno de estas plantas. De este modo, se tiene que

El lirio de agua es también un símbolo de realeza en la sociedad maya clásica (e.g., Rands 1953). Adicionalmente, las imágenes asociadas al agua y la evidencia de rituales asociados a ella se encuentran en los principales centros [...] lo cual sugiere que los gobernantes condujeron ritos de limpieza del agua. (Lucero, 2006, p. 117)

Sin embargo, la importancia por el empleo de los lirios de agua no se restringió a los rituales de purificación, sino que constituyó un símbolo de poder dentro de la sociedad maya que se expandió incluso a regiones en las cuales no crecen estas plantas. De acuerdo con Lucero (2006), a pesar de que los lirios de agua no se encuentran en los manantiales de Palenque, se ha identificado la presencia de iconografía ritual en los templos de esta región, lo cual es indicativo de la importancia política que este símbolo, indicador de la calidad y pureza del agua, tuvo en la ideología y rituales de la sociedad maya. Sin embargo, quizás el rasgo más característico de la importancia del agua en los rituales mayas haya tenido que ver con las redes de comercio asociadas a esta simbología y a los dioses

acuáticos que incrementaban el estatus social de las comunidades autónomas. Como se indicó previamente, las redes de comercio e intercambio entre distintas comunidades resultó en extremo importante para la supervivencia de estas comunidades, pues fue en base a la composición dispersa de las reservas de agua que se tuvieron que establecer redes de comercio, tanto para garantizar el intercambio de bienes en la obtención de recursos vitales, como en el incremento del estatus social en base a la calidad del agua que alguna de estas comunidades disponía. De este modo, la presencia de rituales acuáticos en torno a los lirios de agua es indicativo de la importancia que este símbolo les otorgó a las comunidades que disponían de reservas con una calidad de agua superior a la de otras comunidades autónomas. El lirio se convirtió en un símbolo de gran prestigio social y motivó un intercambio mucho más fluido entre las comunidades que ostentaban este símbolo y las demás. Así, los rituales en torno al agua estuvieron relacionados tanto a las actividades de purificación de las reservas de agua como al reconocimiento del prestigio que tenían las comunidades con las reservas de mejor calidad, lo cual motivó, a su vez, el surgimiento y prevalencia de estos rituales y de los símbolos asociados a ellos.

CAPÍTULO III

EL USO DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA EN EL IMPERIO INCA

Al revisar las innovaciones tecnológicas de las civilizaciones mesoamericanas, fue imposible desligarlas del sistema de creencias ritual y religioso que organizaba estas sociedades. Un caso similar es posible de identificar en el caso de la civilización Inca, a pesar de que se trató de poblaciones con organizaciones sociales distintas. En el caso de los Maya, lo que se tuvo fue que los ritos en torno al agua estaban ligados a la disponibilidad dispersa de las reservas de agua, lo cual obligó a sus pobladores a elaborar un sistema de creencias que de cuenta de la distinción entre reservas con mayor menor calidad del agua en base al simbolismo del lirio de agua. Pero, como se verá más adelante, el simbolismo en torno al agua de la civilización Inca no contempló la dispersión de este recurso, sino más bien su omnipresencia en todas las cosas de la tierra. Fue en base a esta omnipresencia que los Incas desarrollaron una ideología totalitaria que buscaba sustentar su derecho a gobernar sobre otros pueblos. Y como parte de esta ideología en torno al agua es que se buscó la elaboración de complicados sistemas de canales de irrigación y de saneamiento, no solo para sustentar las necesidades básicas de la población, sino para simbolizar tanto la omnipresencia del agua como el complejo y sofisticado manejo de este recurso por parte de la élite Inca. Esta preponderancia en el derecho a gobernar sobre estos, posiblemente, se haya relacionado con una necesidad de establecimiento del control en vista



de profundos cambios climáticos que, en los casos más dramáticos, significaron la desaparición de poblaciones completas. Por ello, lo que se busca es resaltar la enorme influencia que tuvieron las civilizaciones previas al surgimiento de los incas en el estricto control de los recursos hídricos para asegurar su permanencia en base a las experiencias de cambio climático que motivaron, posiblemente, un control más estricto de la población y la necesidad por el desarrollo de sistemas ideológicos en torno al control del agua.

1.1. El cambio climático y la asimilación tecnológica de culturas previas

El surgimiento de la civilización Inca debió tener, como toda cultura, antecedentes que den cuenta del enorme grado de sofisticación tecnológica que esta civilización emprendió. De hecho, una característica de esta cultura fue su naturaleza flexible para asimilar e incorporar diferentes pueblos y comunidades, así como los conocimientos ligados a ellas, para poder no solo consolidar su poder político, sino para emplear más herramientas con las cuales poder hacer frente a las diversas necesidades inmediatas que debían solventar. El intercambio del conocimiento, como se vio anteriormente, constituyó uno de los principales rasgos de la ciencia premoderna de estas culturas, y los incas no fueron la excepción. Sin embargo, el manejo y empleo de estos conocimientos, aplicados tanto en los avances arquitectónicos como hidráulicos de esta cultura, tuvo un proceso que se debe intentar periodizar para poder comprender la enorme importancia que tuvieron tecnologías como los andenes o los canales de irrigación en este imperio. En lo que sigue, se intentarán periodizar brevemente los avances hidráulicos de las culturas que precedieron a la civilización Inca, así como también los inclementes desastres naturales que algunas de ellas, hasta donde se sabe, debieron experimentar y cuyo aprendizaje fue ampliamente valorado y empleado en la emergente civilización incaica.

De acuerdo con Mithen (2012), como se mencionó anteriormente, una de las cualidades más representativas de los incas parece haber sido “su habilidad para asimilar el conocimiento de otras culturas” (p. 258). Por ello, el reconocimiento del aporte de esas culturas debe remontarse hacia la identificación de los primeros centros poblados que emplearon técnicas de gestión del agua. Hasta donde se tiene noticia, una de las comunidades pobladas más antiguas en la Quebrada Jaguay, la cual se ubicó en la costa sur del Perú alrededor del 11 mil y el 9 mil antes de Cristo y empleó para su subsistencia la pesca y la recolección de almejas poco antes del final del Pleistoceno. Sin embargo, uno de los primeros empleos de técnicas de irrigación, tanto en el territorio nacional



como en el continente, lo constituyó el poblado del Valle de Zuña (Dillehay, 2005), los cuales datan de un periodo de al menos entre el 3400 y el 4500 a.C. Así, se encontraron en esta región canales para la irrigación organizados secuencialmente y con una extensión entre 1 y 4 kilómetros entre sí. Posteriormente, otros estudios emprendidos en el valle de Supe, al no encontrar signos de actividades de agricultura o cerámica, determinaron que en esta región solo se efectuaron actividades de intercambio de bienes costeros sin que estos implique un desarrollo tecnológico más sofisticado. Sin embargo, las excavaciones posteriores emprendidas por Shady (2006) a fines de los años 90 determinaron que en el valle de Supe floreció una basta civilización que en la actualidad se conoce como Caral, la cual se compuso de un sofisticado complejo urbano que, efectivamente, debió desarrollar técnicas hidráulicas entre el 2627 y el 1977 a.C., con lo cual presentó un desarrollo anterior al periodo dinástico de la civilización Sumeria (2350 a.C.). Al descubrirse el complejo de Caral, no se encontraron canales de regadío que den cuenta de actividades de agricultura. Sin embargo, se encontraron en los sedimentos una variada presencia de restos de plantas, lo cual da cuenta de actividades de irrigación para sustentar al complejo urbano encontrado. Más aún, los restos de fibras de algodón encontrados en Caral motivaron la teoría de Haas & Ruiz (2005) de que parte del poder político de este complejo estuvo basado en el control de la producción de fibras de algodón, tanto para la elaboración de vestimenta y tocados, como de fibras para redes de pesca. De este modo, el control que Caral tuvo en la producción de este bien necesariamente debió implicar la presencia de canales de irrigación sofisticados y celosamente resguardados.

El descubrimiento de Caral, así como de otros complejos cercanos al valle de Supe, motivaron la especulación de una civilización en la zona que, actualmente, se conoce como la civilización de Norte Chico. Sin embargo, las teorías en torno al posible, y muy probable, uso de canales de irrigación dan cuenta tanto del poder político que se ejerció en esta región como de los posibles motivos para su desaparición, alrededor del año 1800 a.C. De este modo, Mithen (2012) sostiene que “La tecnología de irrigación pudo ser adoptada por otras culturas que luego se expandieron y eclipsaron la civilización de Norte Chico” (p. 260). Otras causas de la desaparición de esta cultura se han propuesto, como la posible presencia de periodos extensos de sequías o terremotos que, como se verá más adelante, significaron enormes retos para las civilizaciones preincaicas posteriores a Norte Chico y dificultaron o, como en el caso de Caral, imposibilitaron el empleo de canales de irrigación.

Las culturas posteriores a Caral y cuyas tecnologías de gestión del agua fueron empleadas más adelante por los incas fueron Chavín y Tihuanaco, alrededor del 1500 a.C. En el caso de los Chavín, se sabe que estos ocuparon gran parte de la costa peruana y de las zonas desérticas al interior del país, por medio del uso de canales de irrigación que redirigían el agua de los ríos cercanos a los campos de cultivo. Por otro lado, también se sabe que elaboraron complejos sistemas de drenaje para poder gestionar el excedente de las lluvias constantes en los asentamientos de las zonas altas. En el caso de los Tihuanaco, estos alcanzaron su periodo de mayor desarrollo entre el 300 a.C. y el 300 d.C., en el área comprendida alrededor del lago Titicaca, y que, al igual que los Chavín, desarrollaron sofisticados sistemas de drenaje para canalizar el agua del lago y desarrollar tierras de sembrío. Un aporte de los Tihuanaco consistió no solo en la elaboración de estos canales de irrigación, sino en las técnicas de modificación del terreno asociadas a estos canales por medio de la construcción de campos organizados en terrazas para, de este modo, aprovechar mejor el terreno disponible y distribuir mejor la energía solar sobre estas tierras de cultivo. De este modo, de acuerdo con Mithen (2012), “tanto los canales de drenaje como las terrazas aumentaron la temperatura ambiental de los campos, redujeron el peligro del congelamiento y extendieron la temporada de siembra” (p. 261). De este modo, las técnicas de irrigación emprendidas no solo buscaron acaparar masas de agua que, por lo general, suelen ser difíciles de conseguir, sino que también se contempló la modificación de la composición física y húmeda del terreno de forma tal que, durante el día, el agua de los canales era calentada por el sol y, durante la noche, enfriaba los sembríos para propósitos prácticos de siembra y almacenaje de productos. Por otro lado, estos canales de irrigación también podían cumplir funciones múltiples, además del traslado de agua y la regulación de la temperatura de los sembríos. Se ha encontrado que los canales de los Tihuanaco también sirvieron a propósitos de piscicultura, pues contenían peces que se podían consumir más adelante y que complementaban la diversidad salínica del suelo al fertilizarlo. De este modo, las innovaciones hidráulicas de esta cultura buscaron maximizar el uso del suelo por medio de la tecnología hidráulica de los canales de irrigación, tanto en el cultivo de diversas plantas y cereales como en la gestión de otras especies para su consumo y fertilización del espacio disponible.

Otras culturas posteriores a los Chavín y los Tihuanaco también emplearon técnicas de irrigación y gestión del agua, como fueron los Nasca, Moche, Wari y Chimú. Con respecto a los Wari, se sabe que estos fueron los



precursores de los Incas, quienes se desarrollaron alrededor del 500 y el 1000 d.C. y ocuparon la región costera y central del Perú. Es debido a las innovaciones de esta cultura que, más adelante, los Inca pudieron desarrollar la tecnología para construir terrazas de cultivo en espacios ubicados a miles de metros sobre el nivel del mar. Otras innovaciones de los Wari que serían luego adoptadas por los Inca fueron el desarrollo de sistemas de irrigación y la construcción de caminos que, durante el Tahuantinsuyo, se extendieron a lo largo del imperio.

Sin embargo, de acuerdo con Mithen (2012), alrededor del siglo XIII es que muchas de estas culturas desaparecieron, ya sea porque fueron asimiladas por el creciente imperio Inca o porque sus sistemas de irrigación, que constituían la base de su sistema de vida y de subsistencia, ya no resultaron viables. Muchas de las causas que desencadenaron la falta de éxito de los canales de irrigación, sin embargo, no se debieron a errores en su planificación, sino a la influencia del entorno físico que afectó en forma directa la implementación de esta tecnología y que determinó tanto la desaparición de estas culturas como la emergencia del imperio incaico. Estos factores, sin embargo, fueron de naturaleza climática y agresiva, al punto que la sofisticada tecnología de las culturas previas no fue suficiente para paliar sus efectos sobre estas culturas. De este modo, uno de los principales factores que alteró la, por lo general, estable composición climática tiene que ver con los fenómenos de El Niño y La Niña en las costas peruanas. De acuerdo con Avaría et al (2004), los fenómenos del Niño y La Niña son fenómenos climáticos que afectan la temperatura de la superficie del mar y alteran los vientos de las costas del Perú y Chile. En el caso de El Niño, lo que se produce es que aumenta la temperatura del nivel del mar y disminuyen los vientos de las costas, mientras que, en el caso de La Niña, disminuye la temperatura de la superficie del mar y aumentan los vientos de las costas. Sin embargo, estos cambios bruscos en la temperatura y en los vientos producen fuertes precipitaciones que pueden motivar tanto inundaciones de los ríos cercanos como también largos periodos de sequía. De este modo, de acuerdo con Mithen (2012), se han recuperado registros del hielo en el nevado de Quelccaya que indican que las culturas Moche y Nazca tuvieron que atravesar por un periodo intenso de precipitación de lluvias durante un lapso de 30 años, alrededor del 565 d.C., y producto de la influencia del fenómeno de El Niño en la región. Esto significó que, para el caso tanto de los Nazca como de los Moche, las fuertes precipitaciones e inundaciones determinaran el inicio de la desaparición de su cultura. Tras el periodo de constantes lluvias, siguieron 30 años de sequía,



lo cual se ha determinado por las gruesas capas de arena que se presentan en el sedimento correspondiente a estas culturas y que determinan que muchas estructuras fueron cubiertas de arena durante la sequía.

Por otro lado, en el caso de los Wari, estos también tuvieron que enfrentarse a las inclemencias del clima alrededor del año 950 d.C. En un inicio, esta cultura también tuvo que hacer frente a las constantes lluvias e inundaciones por las que atravesaron los Nazca y Moche, y una innovación tecnológica que les permitió sobrevivir durante los intensos periodos de lluvias fue el uso de terrazas escalonadas para sus cultivos, los cuales no se vieron afectados por las lluvias pues estas terrazas contemplan el uso canalizado del agua de lluvia. Sin embargo, de acuerdo con Mithen (2012), se sabe que “Tanto los Wari como los Tihuanaco sufrieron de la nueva disminución de la lluvia y de las ocasionales y fuertes sequías que empezaron en el 950 d.C. y se extendieron hasta el 1300 d.C.” (p. 263). Las inclemencias del clima, junto con la incapacidad de su tecnología de terrazas para hacerle frente a los periodos de sequía, determinaron que los Wari abandonaran el valle de Pikillacta en el Cuzco en busca de terrenos con un clima más propicio para los cultivos. Se cree que ellos bloquearon la entrada al valle con rocas con la intención de regresar en una época más favorable para ellos. Sin embargo, nunca lo hicieron.

Tiempo después, alrededor del 1150 d.C, el clima empezó a estabilizarse y las previas poblaciones Wari empezaron a recomponer sus actividades de agricultura y subsistencia. Emplearon terrazas escalonadas y sistemas de irrigación, y poco a poco, comenzaron a prosperar. Estas comunidades dispersas y desalojadas que, anteriormente habían pertenecido a la cultura Wari conformarían la creciente civilización Inca en base al empleo renovado de la tecnología hidráulica que, previamente, no pudo hacerles frente a las inclemencias del clima. Esta situación desfavorable, sin embargo, constituyó un fenómeno aislado dentro de la relativa estabilidad climática de la región y no constituye una falta de efectividad de estas innovaciones tecnológicas. De este modo, la aplicación de recursos hidráulicos no solo restringe su aplicación a las necesidades inmediatas de una población, sino que se puede volver a emplear en otros contextos que le sean más favorables y que, de esta forma, permitan el desarrollo de una civilización entera.



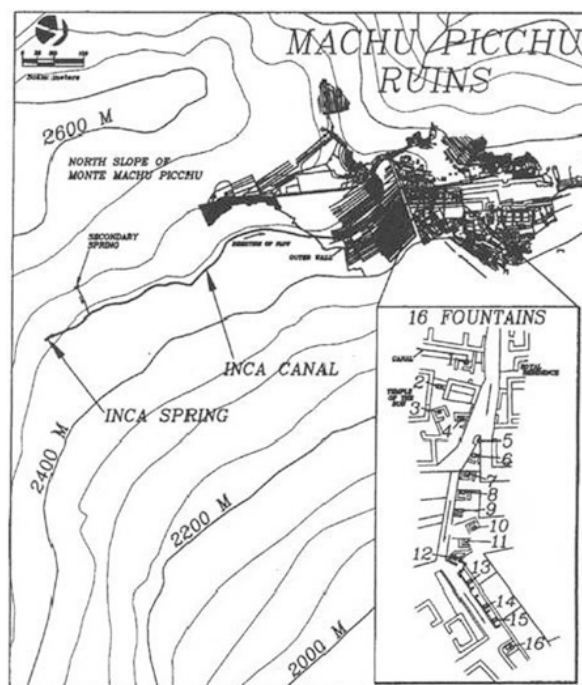
1.2. La gestión del agua en la civilización Inca

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el imperio Inca aplicaría las técnicas de gestión del agua desarrolladas por los Wari, así como de las demás culturas que asimilaron, para la elaboración de importantes avances arquitectónicos e hidráulicos en el sustento de las necesidades de su población. De este modo, se tiene que, en un principio, el imperio estuvo compuesto por poblaciones dispersas alrededor del año 1000 d.C. que posteriormente se establecieron en el valle del Cuzco. En vista de sus impresionantes innovaciones hidráulicas aplicadas a la formación de andenes, como también de sus habilidades bélicas en el sometimiento e incorporación de las poblaciones aledañas, es que los incas edificaron un vasto imperio que llegó a extenderse hasta los territorios de los actuales Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y parte de Argentina. Estos territorios se agruparon en un solo imperio dividido en 4 secciones, conocido como Tahuantinsuyo (“las cuatro partes reunidas”), para el cual tuvieron que emplear un extenso sistema de irrigación y de canales en el abastecimiento de agua para los cultivos y para los complejos arqueológicos ceremoniales encontrados. Dentro de estos, algunos que se destacan son Machu Picchu, Pisac y Tipón, así como también Tambo Machay, Puca Pucar, Cusichaca, Huánuco y Chinchero.

Con respecto al complejo de Machu Picchu, se tiene que este complejo fue construido alrededor del año 1450 d.C. y se ubica a una altura de 2430 metros sobre el nivel del mar, a 80 kilómetros de la ciudad del Cuzco y sobre la cadena de montañas del valle Urubamba. Esta extensa ciudadela fue construida sobre la base de enormes piedras pulidas y secas, pero lo más importante de este complejo es su extenso canal de abastecimiento de agua. De acuerdo con Mays & Gorokhovich (2010), las necesidades de agricultura y salubridad de la ciudadela fueron cubiertas por medio de un canal de agua y de un sistema de 16 fuentes domésticas, las cuales eran abastecidas, a su vez, por dos manantiales principales. De este modo, las fuentes eran dispuestas en una serie hidráulica a una distancia de 55 metros y con una caída de precipitación de 26 metros. Una composición tanto del canal principal como de la serie de fuentes y su disposición se puede apreciar en la siguiente Figura:

Figura 3.

Composición del canal principal y de las fuentes del complejo de Machu Picchu



Nota: Imagen tomada de Wright et al. (1997), citado por Mays & Gorokhovich (2010)

Por otro lado, además del complejo de Machu Picchu, se pueden encontrar otras obras de hidráulica incaica, entre las que destacan Tipón, Incamisana o Tambo Machay. Las dos primeras se discutirán más adelante, pero, con respecto a Tambo Machay, se tiene que, de acuerdo con Bauer (1998), este santuario se construyó alrededor de un manantial considerado como una *huaca* o “lugar sagrado”. Estas huacas, en gran parte, constituían manantiales o fuentes de agua, así como también se señalizaban mediante rocas dispuestas en forma vertical.

1.3. La ideología del agua en la cosmovisión Inca

En vista del enorme despliegue hidráulico de la arquitectura Inca en el sustento de las necesidades de los residentes nobles de Machu Picchu, así como también la disposición de casi un tercio de las huacas encontradas en manantiales



naturales, se vuelve verosímil el suponer que la gestión del agua para los incas constituyó no solo un aspecto administrativo, sino también ritual y religioso, de forma similar al caso de las civilizaciones mesoamericanas. Este aspecto ha sido analizado por Sherbondy (1992), quien explica las estrategias ideológicas que los incas emplearon no solo para explicar sus propios orígenes, sino también para sustentar su dominio sobre otros pueblos en base a un supuesto origen marítimo. De este modo, el uso de estas estrategias ideológicas buscó establecer una conexión en la cual la etnohidrología inca (es decir, el empleo de técnicas hidráulicas) se relacionaba el conjunto de conceptos ideológicos de establecimiento del poder político.

Una característica muy práctica para mantener el poder empleada por los incas consistió en la diplomacia cultural que aplicaron a las poblaciones que sometían. Por ello, los incas buscaron preservar la diversidad étnica de los pueblos que conquistaban a fin de evitar un control ideológico mucho más complejo. Esto se puede verificar en algunas de las crónicas españolas que buscaron registrar los procedimientos de conquista de los incas. Tanto la Suma y narración de los Incas, de Juan de Betanzos como la Historia del Nuevo Mundo de Bernabé Cobo dan cuenta de estas estrategias de negociación. De este modo, se sabe que el imperio inca se formó por medio de la conquista de distintos grupos étnicos, quienes pudieron mantener su identidad cultural a cambio de la entrega de tributos al estado central inca. Al mismo tiempo, y frente a la enorme diversidad cultural que formaba parte de su imperio, los incas buscaron preservar su propia identidad en narraciones ideológicas que justificaban sus conquistas y creaban un sentido de unidad y autoridad hacia ellos. De este modo, la elaboración de mitos de creación constituyó una herramienta ideológica que legitimaba su autoridad. Por otro lado, el uso de rituales que vinculaban a los incas con la cultura de Tiawanaku, la incorporación de territorios, la organización del cuzco en un sistema de castas y la construcción de Machu Picchu como centro del poder fueron otras estrategias empleadas por los incas para preservar su poder sobre otros. Sin embargo, lo que se busca rescatar con esto es que todas estas estrategias utilizaron una resignificación del agua como símbolo de autoridad, así como sobre su circulación y sobre quién está autorizado para controlar este recurso.

Dentro de las estrategias ideológicas que emplearon, los incas se presentaron como una nación que se había originado para gobernar sobre otros, lo cual se expresó en sus mitos de creación y en el origen común a todos como creados por Wiracocha, una deidad marítima. Este mito de origen se relaciona, además, con el derecho de los incas a gobernar, pues en el mito se cuenta que Wiracocha

empleó una serie de acueductos naturales y subterráneos para enviar a los incas a que emerjan de ellos para, así, reclamar la tierra que les correspondía gobernar. El mito, entonces, explicaba el derecho autoritario de los incas sobre otros, pero no respondía muy bien al hecho de que buscaran gobernar un espacio en particular. Así, los incas eran conscientes de que no se habían originado del Cuzco, sino de Pacariqtambo. Sin embargo, para poder establecer una relación más directa con los pueblos bajo su dominio, buscaron un elemento en común a ellos, y lo encontraron en la creencia del origen marítimo de todas las cosas. De este modo, los incas justificaron su derecho a gobernar por medio del origen marítimo del dios Wiracocha. Este se relacionaba íntimamente con el mar, el cual era, a su vez, el origen de todas las cosas sobre la tierra. De este modo, al establecer su conexión con Wiracocha y al apelar a la creencia de que todas las cosas, los árboles, las montañas, y todo lo que compone la realidad, provenía del mar, encontraron un recurso ideológico práctico para justificar su derecho autoimpuesto de gobernar a otros pueblos.

Este origen divino, así como el derecho de gobernar, también se puede explicar por medio de la etimología del nombre de Wiracocha. De acuerdo con Sherbondy (1992), la palabra “Wiracocha” significa, de por sí, “origen”, de acuerdo con el *Vocabulario de la Lengua Quechua* de Diego González Olguín (1608). Sin embargo, Wiracocha era también una divinidad marítima y, como se mencionó anteriormente, existía una creencia compartida entre los distintos pueblos conquistados de que el origen de todas las cosas se hallaba en el mar. Esta creencia compartida del origen de todo en el mar también explica que los incas se identificaran como descendientes de la cultura Tiwanaku, a pesar de que se ha rastreado sus orígenes como más vinculados a los Wari. De acuerdo con Sherbondy, se tiene que “los incas también se vinculaban a sí mismos con la autoridad política de un estado anterior que había dominado las tierras altas del sur por muchos siglos, desde el año 100 hasta el 1200 d.C.” (p. 56). Frente a esta creencia, se tiene que estudios recientes han demostrado, en base al origen genético de las poblaciones incas, que estas tuvieron su origen en puno y que luego se trasladaron al valle de Pacaritambo (Sandoval et al., 2018). Con esto en mente, no resulta extraño que buscaran elaborar un sistema de creencias que, por un lado, buscara justificar su derecho a gobernar sobre otros y, por el otro, buscara mantener su origen y vinculación con la cultura Tiwanaku, la cual se ubicó en Puno, tal y como confirma el estudio de Sandoval et al. (2018). Más aún, las creencias religiosas que explicaban el origen de todas las cosas desde el mar se vinculan con la composición geográfica de la cultura Tiwanaku, con la cual los incas se identificaban, pues esta se ubicaba cerca del lago Titicaca, el cual, por su enorme



extensión, era considerado en la época como un mar aparte del Pacífico. De este modo, se explica la aproximación de Sherbondy (1992) cuando indica que

Es probable que el lago Titicaca haya tenido un significado similar [sobre el origen de mundo] para los Tiwanaku como un lugar de creación y fuente de los ancestros originales, de forma tal que el simbolismo de Titicaca y Tiwanaku haya estado cercanamente asociado por siglos durante el Horizonte Medio. (p. 56)

De este modo, los orígenes de los incas relacionados al lago Titicaca y a la cultura de Tiwanaku se pudieron expresar ideológicamente en los mitos de origen que explicaban tanto su procedencia como su derecho a gobernar, en base al simbolismo del agua como origen de todas las cosas. Es conocida la leyenda de la pareja original compuesta por Manco Capac y Mama Ocllo, quienes surgen del lago Titicaca y viajan a través de los canales subterráneos de Pacaritambo para, luego, emerger de una cueva y fundar mediante una vara de oro la ciudad del Cuzco. Por otro lado, una vez que establecieron un gobierno central en Cuzco, los incas elaboraron ritos de pasaje entre sucesores que buscaban recrear este origen divino por medio del simbolismo del agua. Según Sherbondy (1992), los incas buscaron recordar sus orígenes de Tiwanaku por medio de un ritual en el cual trasladaban agua de una fuente situada en una isla en el lago Titicaca hasta la ciudad del Cuzco para untarla sobre el nuevo Inca que asumiría el poder. Por último, la conexión entre los incas y el simbolismo del agua también se relaciona en las explicaciones que buscaron sustentar los mecanismos de circulación del agua. De acuerdo con estas explicaciones, se pensaba que:

las aguas del mar que se encuentra debajo y alrededor de la tierra se empoza para formar los lagos. Los lagos, a su vez, alimentan los ríos subterráneos, que transportan el agua de los lagos a todos los lagos más pequeños, los ríos y las fuentes, de forma tal que proveen de fuentes de agua a toda la tierra” (Sherbondy, 1992, p. 57)

Esta explicación sobre la circulación del agua, por supuesto, cumplía una importante función ideológica de control y establecimiento del poder. Por un lado, establece que son los acueductos subterráneos los que transportan el agua desde el mar hacia todas las otras fuentes acuáticas que se encuentran en la tierra, lo cual hace referencia al mito original de Manco Capac y Mama Ocllo, quienes se

trasladan desde el “mar” Titicaca hasta el Cuzco por medio de los mismos acueductos subterráneo que transportan el agua a todo el mundo. Por otro lado, también permite establecer que el control del recurso hídrico recae en quienes se vinculan directamente con la fuente de la cual se origina. Al ser los incas quienes surgen del mar, de forma similar a la pareja original, establecen una conexión directa con este recurso y sustentan su derecho a administrarlo en base a él. Este tipo de relaciones ideológicas en relación con la divinidad del agua como origen de todas las cosas, entonces, cumplió una función política y de control estatal que, en primer lugar, buscó diferenciar a los Incas del resto de poblaciones que administraban y que presentaban una enorme diversidad étnica que debía ser aprovechada en forma diplomática para evitar conflictos sociales. Así, del mismo modo en que los Incas les permitían a los pueblos sometidos conservar sus ritos y creencias, los Incas también ostentaron un complejo sistema de creencias que, según se vio, cumplió diversas funciones. Por un lado, buscó establecer una conexión directa con el mar en tanto entidad que origina todas las cosas de forma que apeló a una creencia que era compartida por los pueblos que sometieron y, en segundo lugar, buscó mantener la identidad cultural de los incas, quienes se asociaban a la cultura Tiwanaku, cercana al lago Titicaca. Todas estas estrategias de poder buscaron sustentar el poder político de los incas por medio de una compleja simbología asociada con el agua como origen de todas las cosas y, por lo mismo, como omnipresente en todas las fuentes de agua de la tierra.

1.4. La ingeniería hidráulica en Tipón

En vista del fuerte simbolismo en torno del agua empleado por la civilización inca, tanto en la explicación de sus orígenes como en las explicaciones que sustentaban la circulación del agua desde el mar hacia toda la tierra, es que se puede comprender la enorme importancia simbólica que tuvieron los canales y fuentes de irrigación en este imperio. Uno de los ejemplos de este fuerte simbolismo del agua, expresado en trabajos complejos y sofisticados de ingeniería hidráulica, lo compone el complejo arqueológico de Tipón, el cual funcionó como residencia para los nobles, así como también cumplió funciones ceremoniales y militares.

Tipón se ubica a 20 kilómetros de la ciudad del Cuzco, a unos 13 mil metros sobre el nivel del mar, y pertenece a la comunidad Choquepata. Registros previos indican que este complejo fue ocupado antes de la llegada de los Incas pues, de acuerdo con Bauer (2004), data de entre el 6000 al 4000 a.C., y se vinculan posteriormente al desarrollo de la cultura Wari. Cuando esta declinó alrededor del año 1000 d.C., los Incas parecen haber tomado el control de la zona en 1200 d.C.

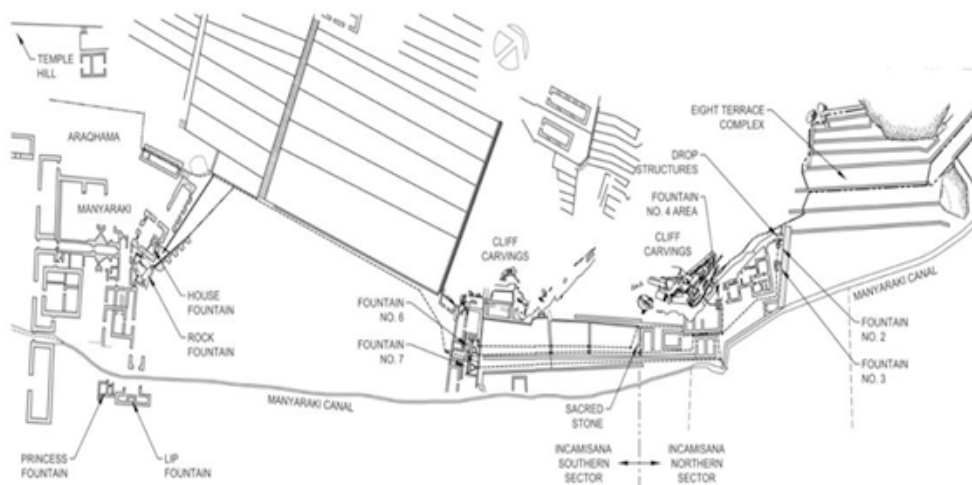
Con respecto a las obras de ingeniería hidráulica del complejo, se tiene que, según Mithen (2012), se buscó optimizar el flujo del agua por medio de ocho conductos subterráneos que canalizaban el flujo hasta la fuente principal. Desde esta fuente, el flujo de agua era dividido en dos canales que desembocaban en un solo depósito. Desde este depósito, otros cuatro canales llevaban el agua hasta otro depósito y, a partir de ahí, una cascada de agua conducía un canal de irrigación desde las terrazas superiores hacia las inferiores. Estos constantes canales y depósitos de agua cumplían una función práctica, que era la de disminuir la velocidad del flujo de agua por medio de las constantes paradas que presentaban los depósitos de agua. La velocidad, a su vez, era influenciada por la energía cinética de la caída (pues se aprovechaba una estructura en diagonal para utilizar la influencia de la gravedad sobre el flujo del agua), con lo cual las constantes paradas se hacían necesarias para ralentizar el flujo de la corriente.

1.5. La hidráulica del tempo del agua de Incamisana

Además del complejo arqueológico de Tipón, el santuario inca de Incamisana constituye otra obra de ingeniería hidráulica que merece la pena analizar. De acuerdo con Wright (2016), este santuario formó parte del complejo de Ollantaytambo, construido durante el reinado del inca Pachacuti. Este complejo constituyó un estado reservado para la realeza inca, y estuvo habitado por un promedio de unas 1000 personas. Se construyó empleando grandes cantidades de rocas que provenían de la catarata de Kachiqhata, cerca al río Vilcanota, así como también rocas provenientes de riscos y aquellas encontradas cerca al río Patakancha. Un componente fundamental del santuario de Incamisana tiene que ver con el extendido culto al agua que formaba parte del panteón Inca. Este extendido culto se expresó por medio de las numerosas fuentes y acueductos que se entrecruzan entre sí y que buscan simbolizar estéticamente la importancia del agua y la omnipresencia de este elemento en todas las cosas. A continuación, se puede apreciar la topografía del santuario en la siguiente Figura:



Figura 5.
Topografía del santuario de Incamisana



Nota: Figura tomada de Wright (2016)

De forma similar al complejo de Tipón, el santuario de Incamisana se compone de numerosas fuentes de agua que alimentan los canales de irrigación a lo largo de los sectores norte y sur. También, presenta una estructura de terrazas escalonadas que buscan aprovechar la fuerza gravitatoria para hacer descender el agua de las fuentes en forma controlada mediante las estructuras de caída. De este modo, tanto el complejo de Tipón como el santuario de Incamisana buscan dar cuenta tanto de la compleja hidráulica empleada en su construcción como de la relevancia ritual y religiosa presente en ambas estructuras. Con esto en mente, se puede comprender mejor el estudio emprendido respecto de los canales de Cumbemayo, pues hasta el momento no se han realizado estudios respecto de las características hidráulicas que estos canales presentan. Así, el análisis de estos canales busca vincular la compleja estructura que estos presentan con las innovaciones hidráulicas que se debieron emplear en su construcción.

CAPÍTULO IV

TOPOGRAFÍA, HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y CULTURA

Para tener una ubicación real de los puntos donde se dan las ganancias y pérdidas de agua, además de la ubicación de las muestras culturales en el canal, fue necesario hacer el levantamiento topográfico para determinar distancias respecto del punto inicial (captación).

4.1. Topografía del canal Cumbemayo

Se realizó el levantamiento con Estación Total, utilizando dos prismas para refracción de rayos láser. Con esta información se realizaron los planos que se presentan en Anexos. Los resultados son los siguientes:

Tabla 1.
Información computarizada de procesamiento topográfico

RELATIVAS					UTM		
ESTE	NORTE	COTA	N° PUNTO	DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA
918.477	2069.211	3730.590	5	EJE-CANAL	76518.477	205269.211	3580.590
921.661	2071.948	3730.306	9	EJE-CANAL	76521.661	205271.948	3580.306



944.234	2065.706	3730.288	14	EJE-CANAL	76544.234	205265.706	3580.288
945.674	2065.724	3730.270	22	EJE-CANAL	76545.674	205265.724	3580.270
947.033	2064.950	3730.308	26	E-CANAL	76547.033	205264.950	3580.308
948.048	2063.971	3730.301	28	EJE-CA	76548.048	205263.971	3580.301
954.035	2062.127	3730.314	29	EJE-CA	76554.035	205262.127	3580.314
982.017	2054.393	3729.968	34	EC	76582.017	205254.393	3579.968
991.304	2051.016	3730.256	37	EC	76591.304	205251.016	3580.256
1007.391	2046.345	3730.165	44	EC	76607.391	205246.345	3580.165
1019.859	2040.802	3730.207	47	EC	76619.859	205240.802	3580.207
1035.819	2034.462	3730.226	57	EC	76635.819	205234.462	3580.226
1034.963	2034.839	3730.229	59	EC	76634.963	205234.839	3580.229
1044.678	2032.525	3730.281	61	EJE-ANG	76644.678	205232.525	3580.281
1046.461	2029.621	3730.167	64	EJE-CANAL	76646.461	205229.621	3580.167
1048.065	2024.703	3730.114	66	EJE-CURVA	76648.065	205224.703	3580.114
1051.948	2021.728	3730.152	70	EJE-CURVA	76651.948	205221.728	3580.152
1060.807	2017.709	3730.051	73	EC	76660.807	205217.709	3580.051
1068.045	2013.775	3730.100	76	EJE-CUR- VA-CANAL	76668.045	205213.775	3580.100
1072.707	2008.125	3730.013	79	EJE-CUR- VA-CANAL	76672.707	205208.125	3580.013
1080.527	1997.723	3730.009	87	EC	76680.527	205197.723	3580.009
1089.009	1989.007	3730.063	90	EC	76689.009	205189.007	3580.063
1097.507	1982.059	3729.949	103	EJE-CURVA	76697.507	205182.059	3579.949
1104.726	1977.466	3730.013	107	EC	76704.726	205177.466	3580.013
1109.742	1974.203	3730.106	114	EC	76709.742	205174.203	3580.106
1118.800	1967.634	3730.057	116	EJE-CAN-CUR- VA	76718.800	205167.634	3580.057
1123.491	1961.923	3730.132	119	EC-CURVA	76723.491	205161.923	3580.132
1126.790	1954.892	3730.143	125	EC-CURVA	76726.790	205154.892	3580.143
1132.900	1949.043	3729.933	128	EC	76732.900	205149.043	3579.933
1139.346	1945.461	3729.968	131	EC	76739.346	205145.461	3579.968

RELATIVAS					UTM		
ESTE	NORTE	COTA	N° PUNTO	DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA
1146.264	1942.136	3729.706	134	EC-C	76746.264	205142.136	3579.706
1157.953	1941.307	3729.622	137	EC	76757.953	205141.307	3579.622
1182.004	1942.248	3729.611	140	EC	76782.004	205142.248	3579.611
1187.459	1942.321	3729.622	142	EC-C	76787.459	205142.321	3579.622
1194.388	1941.582	3729.623	146	EC-C	76794.388	205141.582	3579.623
1200.121	1940.556	3729.716	149	EC-C	76800.121	205140.556	3579.716
1209.427	1937.959	3729.790	152	EC-C	76809.427	205137.959	3579.790
1216.297	1935.112	3729.832	155	EC-C	76816.297	205135.112	3579.832
1220.588	1931.541	3729.782	158	EC-C	76820.588	205131.541	3579.782
1229.219	1926.707	3729.785	161	EC	76829.219	205126.707	3579.785
1254.979	1907.649	3730.757	164	EC	76854.979	205107.649	3580.757
1242.649	1917.179	3729.646	167	EC	76842.649	205117.179	3579.646
1265.806	1903.774	3728.791	170	EC-C	76865.806	205103.774	3578.791
1272.695	1902.206	3728.758	173	EC-C	76872.695	205102.206	3578.758
1287.791	1898.078	3728.831	176	EC-C	76887.791	205098.078	3578.831
1292.899	1899.920	3728.738	179	EC-C	76892.899	205099.920	3578.738
1297.050	1899.194	3728.812	182	EC-C	76897.050	205099.194	3578.812
1298.366	1900.178	3728.785	185	EC-C	76898.366	205100.178	3578.785
1303.690	1900.498	3728.712	188	EJE-ANG	76903.690	205100.498	3578.712
1304.358	1900.985	3728.806	190	EJE-ANG	76904.358	205100.985	3578.806
1251.679	1910.390	3730.681	192	EC	76851.679	205110.390	3580.681
1259.677	1904.032	3731.403	194	EC-C	76859.677	205104.032	3581.403
1264.953	1903.822	3729.778	197	EC-C	76864.953	205103.822	3579.778
1268.454	1903.446	3729.727	199	EC	76868.454	205103.446	3579.727
1278.497	1900.695	3729.753	203	EC	76878.497	205100.695	3579.753
1288.135	1898.033	3729.806	206	EC-C	76888.135	205098.033	3579.806
1292.756	1899.892	3729.739	209	EC-C	76892.756	205099.892	3579.739
1296.997	1899.220	3729.810	212	EC-C	76896.997	205099.220	3579.810
1298.372	1900.237	3729.770	215	EC-C	76898.372	205100.237	3579.770
1307.349	1901.456	3729.752	221	EC-C	76907.349	205101.456	3579.752
1309.721	1902.502	3729.671	242	EC-C	76909.721	205102.502	3579.671



1322.236	1897.120	3729.659	246	EC-C	76922.236	205097.120	3579.659
1314.737	1900.273	3729.736	248	EC	76914.737	205100.273	3579.736
1325.871	1893.305	3729.645	251	EC-C	76925.871	205093.305	3579.645
1333.462	1890.447	3729.654	254	EC	76933.462	205090.447	3579.654
1348.092	1887.507	3729.786	257	EC-C	76948.092	205087.507	3579.786
1349.974	1887.878	3729.714	260	EC-C	76949.974	205087.878	3579.714
1352.636	1892.909	3729.688	263	EC-C	76952.636	205092.909	3579.688
1352.190	1891.075	3729.687	270	EC-C	76952.190	205091.075	3579.687
1356.299	1897.148	3729.653	273	EC-C	76956.299	205097.148	3579.653
1359.123	1901.134	3729.618	276	EC-C	76959.123	205101.134	3579.618
1359.123	1901.140	3729.613	277	EC-C	76959.123	205101.140	3579.613
1363.673	1901.322	3729.689	280	EC	76963.673	205101.322	3579.689
1373.654	1898.294	3729.689	283	EC	76973.654	205098.294	3579.689
1375.650	1898.062	3729.698	287	EJE-ANG	76975.650	205098.062	3579.698
1375.852	1897.879	3730.288	290	EJE-ANG	76975.852	205097.879	3580.288
1388.951	1893.719	3729.725	295	EJE-ANG	76988.951	205093.719	3579.725
1389.634	1893.227	3729.708	298	EJE-ANG	76989.634	205093.227	3579.708
RELATIVAS				UTM			
ESTE	NORTE	COTA	N° PUNTO	DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA
1399.233	1891.200	3729.674	300	EC	76999.233	205091.200	3579.674
1418.170	1886.380	3729.667	303	EC-C	77018.170	205086.380	3579.667
1422.450	1885.030	3729.680	306	EC	77022.450	205085.030	3579.680
1459.193	1881.711	3729.717	312	EC	77059.193	205081.711	3579.717
1460.956	1882.305	3729.493	313	EC	77060.956	205082.305	3579.493
1470.341	1879.579	3729.802	316	EC	77070.341	205079.579	3579.802
1487.455	1878.320	3729.588	319	EC	77087.455	205078.320	3579.588
1494.253	1875.253	3728.200	322	EC-C	77094.253	205075.253	3578.200
1504.081	1871.328	3728.185	325	EC	77104.081	205071.328	3578.185
1530.398	1859.334	3728.198	331	EC-C	77130.398	205059.334	3578.198
1538.229	1855.925	3728.202	333	EC	77138.229	205055.925	3578.202
1502.906	1871.724	3729.727	337	EC-C	77102.906	205071.724	3579.727
1522.325	1865.386	3729.539	340	EC-C	77122.325	205065.386	3579.539
1530.548	1859.335	3729.688	343	EC-C	77130.548	205059.335	3579.688

1538.384	1855.901	3729.685	346	EC	77138.384	205055.901	3579.685
1550.119	1850.854	3729.692	349	EC	77150.119	205050.854	3579.692
1557.823	1846.876	3729.692	352	EC-C	77157.823	205046.876	3579.692
1565.446	1842.205	3729.685	355	EC	77165.446	205042.205	3579.685
1576.196	1835.104	3729.688	358	EC-C	77176.196	205035.104	3579.688
1585.276	1828.232	3729.661	361	EC-C	77185.276	205028.232	3579.661
1589.375	1824.489	3729.668	364	EC	77189.375	205024.489	3579.668
1596.500	1818.320	3729.676	367	EC	77196.500	205018.320	3579.676
1610.419	1806.864	3729.680	370	EC	77210.419	205006.864	3579.680
1619.897	1799.386	3729.666	373	EC	77219.897	204999.386	3579.666
1630.069	1791.156	3729.683	376	E-ANG	77230.069	204991.156	3579.683
1631.285	1791.250	3729.660	381	E-ANG	77231.285	204991.250	3579.660
1631.724	1791.395	3729.673	384	E-ANG	77231.724	204991.395	3579.673
1635.423	1788.391	3729.677	387	EC	77235.423	204988.391	3579.677
1641.016	1783.560	3729.610	390	E-ANG	77241.016	204983.560	3579.610
1651.140	1773.939	3729.550	396	EC	77251.140	204973.939	3579.550
1668.276	1760.566	3729.581	399	EC	77268.276	204960.566	3579.581

Los levantamientos topográficos modernos, como el realizado, se hacen cada día más rápidos y exactos, pero con equipos cada vez más sofisticados. Por ello, la pregunta que podríamos plantearnos en esta parte de la investigación es: ¿Cómo y a través de que instrumentos los constructores del canal lograron realizar tan admirable trabajo? La respuesta es la siguiente: habría seguido los principios básicos que actualmente se conocen; sin embargo, es menester señalar que estos conocimientos lo aplicaron miles de años antes que los obtenidos actualmente. El manejo del nivel, el adecuado diseño acorde con la conservación del paisaje (visión ecológica), las formas en zigzag (conocimiento hidráulico), la calidad de los acabados, el manejo racional del recurso agua y piedra, etc. los han tenido muy presentes en todo el diseño y construcción del Canal.

4.2. Presentación de la Geometría del Canal Pre Inca Cumbemayo

Fue medido en el campo, tanto por métodos manuales como con equipos sofisticados. Los aforos realizados en el Canal Pre Inca Cumbemayo se hicieron con metodología, de la siguiente manera:



- Método para medir la Carga Hidráulica a través del vertedor de Pared Delgada en forma de “V” con $\alpha = 90^\circ$. Este método permite aforar en cualquier punto del total de recorrido del Canal Pre – Inca Cumbemayo que tiene una longitud de 03 + 162,6 Km. llegando al límite de la Divisoria Continental o Divortium Aquarium. En todo el largo período de investigación, es el método que más se ha usado por ser el vertedero de pared delgada más manual y de fácil transporte, para el campo, como es esta zona altoandina.
- Método Volumétrico, se realizó en zonas donde no existe talud de piedra o roca ígnea, como se aprecia en la figura N° 002-IV.
- Método del Tubo de Pitot, se hizo en mayo frecuencia en los primero 1000 mts, por ser una zona que permite realizar este método, pero en zonas de más de 2000 mts y 3000 mts. No lo permite porque el tirante (Y) es mucho más profundo.

4.3. Evaluaciones en Campo

Características Hidráulicas

El gasto en el canal, a partir del cual han sido hallados los parámetros hidráulicos es de 0.0563 m³/s. 0.057 m³/s.; 0.016 m³/s.; 0.0197 m³/s.; 0.0171 m³/s.; 0.0214 m³/s.; 0.0214 m³/s.; 0.0224 m³/s.; 0.0213 m³/s.; 0.0200 m³/s.; 0.032 m³/s. Y 0.072 m³/s., los valores de la pendiente están relacionados con el mantenimiento del flujo, es decir con los tirantes de agua, manteniendo pendientes moderadas que permitan tirantes mayores que la crítica en todos los casos. En el último tramo se observa pendiente cercana a la crítica, notándose que puede haber en estas condiciones un cambio en el flujo, es decir pasar de un flujo sub crítico a supercrítico, esto se debe a que el último tramo estudiado está cercano a la división de cuencas, desde allí a las pendientes que presentan los terrenos adyacentes son altas de los cuales sería imposible mantener pendientes moderadas, entonces debió existir necesariamente un cambio de pendiente y por consiguiente un cambio en el flujo.

La rugosidad que presenta el canal se distingue dos tipo debido a la construcción, la primera que fue tallada enteramente en roca (0.022) existente en la zona y la segunda que fue excavada en suelo natural (0.028) presentándose en algunos casos por el estado en que se encuentran valores máximos y mínimos alrededor de los normales y el valor de 0.033.

Existen cambios continuos en la sección transversal y por ende cambios en el área mojada, perímetro mojado y profundidad hidráulica notablemente para mantener el estado del flujo.

Los tirantes reales varían desde un mínimo de 0.25 m. hasta 2.10 m., presentándose en forma gradual por tramos. Estos tirantes están relacionados con los cambios de pendiente y con los continuos cambios en la sección transversal a medida que avanza el canal hacia la divisoria de las aguas.

Las velocidades medias del flujo son variables y varían desde un mínimo de 0.16 m/s hasta un máximo de 1.04 m/s. velocidades lentas relacionadas con el estado del flujo.

Línea de energía

Los resultados obtenidos en cuanto a pérdida de energía no se ajustan a la realidad, presentando valores muy altos, aún si estos sean los más exactos posibles es incomprensible pensar que estos se hallan dado cuando el canal estuvo en funcionamiento o se ponga en funcionamiento, debido a que pérdidas de carga en canales abiertos es casi imperceptible. Estos valores de pérdidas muy altos se deben a que un estudio de línea de energía y por supuesto pérdida de energía, se realiza de una forma detallada y con valores mucho más precisos que los obtenidos en el presente estudio.

Consideraciones de diseño

Con las características del canal evaluadas anteriormente que comparadas con las consideraciones actuales que se emplean para el diseño y construcción de un canal abierto, podemos decir si estas consideraciones fueron utilizadas en la construcción del canal Cumbemayo.

- **Determinación del Material:** En el diseño de un canal, la selección del material depende principalmente de su disponibilidad, del método de construcción y del propósito para el cual va a ser usado el canal; esta consideración puede haberse dado, afirmando este hecho en las características constructivas que representa el canal Cumbemayo. El tipo del material empleado para la construcción fueron roca traquita para los primeros tramos y tierra de naturaleza calcárea-arenosa-caliza para los tramos restantes.



- **Velocidad Máxima Permisible:** Las velocidades máximas obtenidas en el canal para el tramo en roca es de 0.62 m/s., que se presenta en la sección 17 progresiva 0 + 258.8 y para el tramo en tierra es de 1.04 m/s., que se presenta en la sección 106 progresiva 3 + 162.6, velocidades que se encuentran por debajo de la velocidad máxima permisible teórica de acuerdo al tipo de material, lo que significa que las velocidades presentadas están dentro del rango de velocidades recomendadas actuales.
- **Velocidad Mínima Permisible:** En algunos tramos la presencia de velocidades bajas como 0.16 m/s, se puede predecir que va existir problemas de sedimentación, estos se presentan en el canal construido en roca, donde el mantenimiento del canal debió haberse dado con frecuencia. En los tramos contruidos en tierra las velocidades que se presentan no son muy bajas lo que nos puede hacer pensar que estas se encuentran por encima de la mínima permisible.
- **Sección de Máxima Eficiencia Hidráulica:** Para determinar si la sección que presenta el canal se aproxima a la sección de máxima eficiencia hidráulica, se realiza el análisis a través de la comparación de la relación: $b/Y = 2 * Tag (\alpha/2)$. En la mayoría de los casos el valor del segundo miembro de la relación se aproxima al valor del primer miembro, es decir la igualdad trata de mantenerse. En las secciones donde la pendiente es negativa, estas han sido controladas aguas arriba como aguas abajo, que se presentan principalmente con un ensanchamiento en la base. Después de pasar una pendiente negativa, los valores de b/y son mayores que $2 * Tag.(0/2)$, en estos casos las secciones han sido sobreestimadas, tal vez debido a la excavación que se tuvo que dar para mantener la pendiente del fondo.
- **Sección con Mínima Infiltración:** Para determinar si la sección que presenta el canal se aproxima a la sección con mínima infiltración, se realiza el análisis a través de la comparación de la relación: $b/Y = 4 * Tag (\alpha/2)$.
- La igualdad de ambos miembros de la relación trata de mantenerse en todos los casos.
- En los tramos del canal en tierra, la igualdad de la relación es mucho más aproximada, se aprecia de los resultados que han sido trabajadas cuidadosamente.

- **Sección Económicamente Favorable:** El canal no tuvo consideraciones económicas que implique movimientos de tierra, es más claro el objetivo del trazo en la conducción de sus aguas que un análisis de costos de construcción. Si bien en el tamo de roca se cumple en el tramo de tierra no, donde las profundidades de excavación son altas con la única finalidad de mantener la pendiente.
- **Estabilidad:** Existe una buena estabilidad en la construcción del canal tanto en los tramos de roca, con paredes verticales (talud = 1:1), y en los tramos de tierra con ligeras inclinaciones (talud promedio = 0.11:1).
- **Imprevistos y Mantenimiento:** Como las fluctuaciones en la superficie de agua no son muy pronunciadas, las profundidades que presenta el canal son las acertadas que no producirán desborde en los lados.
- Debido a las condiciones de flujo que escurre en el canal debió haber sido necesario un mantenimiento correspondiente a la limpieza del canal, existe de este modo una plataforma construida también en roca en algunos tramos, la que pudo haber servido para tal fin; no se nota una obra adicional en los tramos en tierra.

4.4. Discusión

Obras de Arte

El canal Pre Inca Cumbemayo con trazos zigzagueantes en planta, que entrelaza alineaciones rectas, en ciertos tramos se han encontrado cuatro de ellas denominándoles grecas. Estas grecas forman ángulos rectos desplazándose a la derecha o izquierda, según hay convenidos, se ha presentado un caso en el que se han formado tres ángulos rectos ($0 + 806.2 - 0 + 826.2$) para desplazarse a la izquierda y luego desplazarse de la misma forma por ángulos rectos, hacia la derecha en este caso haciendo un ángulo recto. Estas formas de construcción pueden haber tenido su significado, en la importancia de querer mantener el efecto de remanso elevando la altura de agua o en todo caso manteniendo el nivel de agua alcanzado, en cualquier caso, este sistema cumpliría una función directa de los factores hidráulicos y geométricos del canal Pre Inca Cumbemayo. Se puede decir entonces que el conocimiento que tenían sobre el trazado y construcción de un canal Pre Inca Cumbemayo, no era solamente un simple alineamiento y una excavación parecida al de una acequia por el cual se transporta el agua, sino más



bien sabían la importancia que tenía el buen control hidráulico a lo largo del canal Pre Inca Cumbemayo, de allí el porqué de la construcción de estas grecas.

Existen también obras como puentes y túneles. Los puentes construidos con la finalidad de llevar las aguas del canal de una margen a otras del río, que como ya se dijo de aprovechar todo flujo que pueda aumentar el caudal del canal Pre Inca Cumbemayo. Sin embargo, no quedan restos de una construcción antigua para las bases de estos puentes, ya que ahora estos han sido mejorados por técnicas actuales, más bien se nota una construcción empírica de piedras unidas con mortero de barro, y por encima de éstas cruza el canal, dejando por debajo del puente una sección por donde fluiría las aguas del río. Esto quiere decir posiblemente que en vez de considerarla una obra adicional fue tratada siguiendo la forma del terreno.

La presencia de túneles se ha dado aprovechando los bloques caídos, acondicionándolos como tapas dándoseles la forma de un túnel. El acondicionar estos bloques de roca, pudo haberse dado sí la ruta que debió seguir el canal Pre Inca Cumbemayo estaba establecida, así es que una interrupción en ésta no era posible de admitir, el hecho está en que aún no existiera ningún conducto abierto la roca era tallada en su interior, así es el caso que en la progresiva 0 + 495, a la salida del puente, existe un túnel tallado en roca, en donde internamente existe un quiebre de 95°. Las longitudes del socavón del túnel son pequeñas, que va de acuerdo al tamaño de roca a cruzar y estos van desde 1.5 a 5.0 m. de longitud.

Aspecto hidráulico

Debido a que el canal pre inca Cumbemayo no se encontraba en funcionamiento, lo que impedía medir tirantes de agua y hacer el aforo correspondiente, se optó por tomar medidas de toda la sección, la altura total (H), base (b), ancho de solera (B), además de la pendiente del lecho del canal (S) y estimar el valor de rugosidad de Manning de la pared (n).

Se ha optado por el uso de la ecuación de Manning, ya que esta permite mayor manejabilidad, además del buen grado de aproximación que ofrece. Los elementos que encierra la ecuación son elementos tomados en campo, a excepción del factor de rugosidad (n) este fue estimado, su valor se hace importante en la ecuación, por tal motivo este debe ser el más preciso posible. La dificultad en elegir el valor del factor de rugosidad se debe a que no existe una tabla de valores exactos de rugosidad de todos los materiales que puedan ser utilizados en la

construcción de un canal. Pero en la construcción del canal Pre Inca Cumbemayo, se puede argumentar que cambios en la rugosidad de la pared, puede haber sido usado como un ajuste fino, implicando un conocimiento de este efecto en la regulación de la velocidad del flujo y tirante de agua. Por lo tanto, la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning, se obtuvo evaluando y estimando factores que afectan a este coeficiente como es el material considerado, grado de irregularidad, variaciones en la sección transversal del canal, obstrucciones, vegetación y cantidad de meandros de los cuales da como resultado un valor promedio de n .

Caudal calculado

El caudal estimado es de 0.0563 m³/s, 0.057 m³ /s.; 0.016 m³/s.; 0.0197 m³/s.; 0.0171 m³/s.; 0.0214 m³/s.; 0.0214 m³/s.; 0.0224 m³/s.; 0.0213 m³/s.; 0.0200 m³/s.; 0.032 m³/s. Y 0.072 m³/s. este ha sido estimado considerando que el caudal es constante a lo largo del tramo estudiado, pero el canal es constante a lo largo del ramo estudiado, pero el canal Pre Inca Cumbemayo en sus primeros tramos no mantiene un flujo continuo es decir que no sólo llevaba las aguas encauzadas, sino que también recolectaba las aguas que bajaban de las chorreras y por tanto, aumentaban el caudal. Pero también en el canal existen secciones capaces de soportar un mayor caudal sin sufrir desbordamiento (tramo de tierra), previniendo así estos aumentos de caudal. Teniendo en cuenta este aumento de caudal y haciendo el cálculo para estas secciones de mayor superficie el caudal hubiese aumentado a 0.120 m³/s. Este caudal provocaría un efecto de remanso mucho más notable pudiéndose apreciarse el control tanto de parámetros hidráulicos como topográficos en el funcionamiento del canal.

Tipo de flujo

Todo el canal Pre Inca Cumbemayo soporta u régimen subcrítico, la presencia de pendientes suaves corriente abajo hacen imposible que haya incrementos en la elevación aguas arriba en lugares no deseados. Y esto significa un manejo de los tirantes de agua aunándose los trazos zigzagueantes en planta del canal, que permiten elevar la altura de agua en ubicaciones aguas arriba.

El mantener el canal bajo condiciones subcríticas de un extremo a otro del canal, que causan un escurrimiento lento, podrían haber ocasionado problemas de sedimentación, que se acentúa en los tramos de roca.



Perfil del flujo

El objeto de evaluar la curva de remanso es de conocer hasta que punto influye en el diseño y construcción del canal.

En el levantamiento se han tomado mediciones en total de 106 secciones cada vez que está cambiaba en su tamaño. Para simplificar el análisis se han dividido en tramos teniendo en consideración: primero cambios en la pendiente, cambios del tipo de material empleado y que la sección promedio este entre el rango del tramo estudiado. Este se pudo dar ya que la variación en las secciones, específicamente en la base eran pequeñas, éstas están entre los 5 y 10 cm.

Para un flujo subcrítico, que es el que desarrolla el canal, explica que un cambio en la elevación de la superficie libre aguas abajo es transmitido aguas arriba, mediante una curva de remanso, entonces es claramente demostrable el conocimiento del control del flujo aguas abajo, es por ello la construcción de tramos zigzagueantes.

Características Hidráulicas

Los cálculos de las profundidades de agua, su velocidad promedio, profundidades de agua, su velocidad promedio, profundidades normales y críticas, pendientes locales y número de Froude, implican un claro objetivo mantener un nivel de agua.

Si se quería mantener un flujo subcrítico, se tuvo que haber tenido un control sobre las pendientes estas deberían haber sido las más moderadas posibles, hecho que sí se presenta en el canal.

La rugosidad, factor determinante en el cálculo del caudal, revela ajustes locales en lo que respecta al canal construido en roca. Existe variación en las cercanías y en la misma ubicación en la que se dio el trazo zigzagueante, cabe la posibilidad de argumentar que cambios en la rugosidad, pueden haber sido usados con la finalidad de dar un ajuste fino a la regulación de la velocidad del flujo.

Los cambios en la sección transversal del canal están relacionados con el mantenimiento del flujo, lo que significa una disminución en el área un aumento en el tirante, teniendo en cuenta la variación de la pendiente.

Las velocidades medias del flujo representan un escurrimiento lento en casi todos los tramos, a excepción de los a últimos tramos donde las velocidades se hacen más grandes, debido a la pendiente ligeramente pronunciada. Esto corrobora el hecho de que después de cruzar la divisoria continental y debido a las grandes pendientes de estos siguientes tramos, el canal pareciera que cambiara a un estado de flujo supercrítico que será llevado por un entrelazamiento de caídas, hasta que la pendiente lo permita, para llegar luego al reservorio. Hay que hacer notar que el canal Pre Inca Cumbemayo en ningún momento distribuye agua, solo transportaba.

Consideraciones en el diseño

En lo que respecta al material empleado, podría decirse que no hubo gran variedad de materiales del que podría elegirse el canal Pre Inca Cumbemayo, o era de tierra o era de roca, ya que se encontraba al alcance de la zona donde se iba a realizar la construcción. Lo interesante se debe a que supieron acomodar esta disponibilidad de material, puesto que existe tramos enteramente en roca, tramos en roca con mampostería de barro y tramos excavados en tierra. La naturaleza de la roca ofrece gran resistencia al desgaste erosivo, se puede decir entonces que esta condición era conocida, por tanto, se pudo haber evaluado consideraciones de diseño antes de efectuar la construcción.

La velocidad máxima permisible, encontrada en el canal está dentro del rango de las recomendadas en la actualidad, lo que significa que esta velocidad no produciría erosión en las paredes y el fondo del canal. Si las velocidades obtenidas se hubiesen presentado mayores que las máximas permisibles, habrían modificado las rasantes creando dificultades en el funcionamiento del canal. Generalmente al diseñar canales no erosionables, la velocidad máxima permitida no es un criterio para considerar, ya que se diseña calculando las dimensiones del canal con una fórmula de flujo uniforme, decidiendo las dimensiones finales sobre la base de eficiencia hidráulica, practicabilidad y economía. De cualquier modo, si es posible tener en cuenta esta velocidad máxima, acondicionaría al canal a resistir la erosión, de cualquier forma, el canal Cumbemayo, en sus primeros tramos está construido sobre lecho rocoso, lo que por ende se hace no erosionable.

En algunos tramos del canal, se presentan velocidades bajas que pueden permitir sedimentación en el canal, pero disminuidas a su vez con un mantenimiento adecuado. Se puede decir velocidades bajas en comparación a la velocidad promedio, ya que un valor de la velocidad mínima es muy incierto y su valor exacto



no puede ser fácilmente determinado, sólo se puede decir que estas velocidades provocarían crecimiento de plantas acuáticas y musgo en el canal.

La mejor sección hidráulica, será la sección intermedia entre una sección de máxima eficiencia hidráulica y mínima infiltración. Se puede argumentar que esta sección existe y debido a los resultados comparativos obtenidos, se le dio la menor excavación para conducir un gasto dado además que estas secciones se han visto en la necesidad de obtener la menor pérdida posible de agua por infiltración.

La sección económicamente favorable, no implica solamente una sección que, de una excavación mínima, sino más bien que de un área mínima para una descarga dada, es decir se tiene en cuenta primeramente una sección de máxima eficiencia hidráulica, que en el caso del canal se presenta.

La estabilidad del canal se presenta firme de acuerdo con los materiales empleados y la forma constructiva empleada, en los tramos en roca se han presentado secciones rectangulares y en los tramos en tierra secciones trapezoidales profundas.

La profundidad que presenta el canal y al cuidado que se les dio a las paredes, garantizan un margen de seguridad frente a eventuales acontecimientos que pueden causar desbordamientos en el canal, además que estos se encuentran dentro de los rangos recomendables.

Se tiene que haber dado un adecuado mantenimiento al canal habiendo la posibilidad de una estructura para tal fin, ya que en algunos tramos existen plataformas de piedra como especie de camino el que pudo haber sido utilizado para efectos de mantenimiento.

Hidrología del canal

El aprovechamiento de las aguas del río Cumbemayo, lo conforman aquellas que discurren al punto de captación de toda su cuenca. Naturalmente, las aguas caídas por precipitación son interceptadas por la cobertura vegetal y drenan poco a poco, así como hoy lo conocemos. En nuestro objeto de estudio, el Canal Prehispánico Cumbemayo, las aguas que capta son principalmente del río mencionado y de las aguas pluviales.

La cuenca del río Cumbemayo tiene un área aproximada de **37775920 m²**, equivalente a **37.7592 ha**.

Hidráulica de canal Cumbemayo

La parte del canal en estudio es de 03 +162.6 Km. y ha sido dividido en seis tramos el primer kilómetro por ser el canal que está mejor conservado, pero además también en todas las zonas existentes y las chorreras que alimentan de caudal al canal, o también ha obedecido a la presencia de pequeñas quebradas que lo abastecen. Para efectos de esta evaluación los tramos corresponden a enumeración consecutiva, tal como se aprecia en los planos.

Evaluaciones de caudal

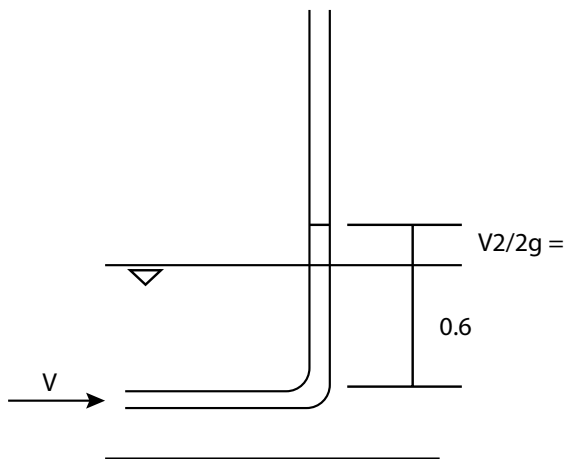
El caudal del Canal Prehispánico Cumbemayo fue evaluado en los diferentes meses del año, obedeciendo a las épocas de períodos de estiaje, período normal, y de lluvias, logrando obtener sus curvas de isoyetas respectivamente. Para esto se utilizó el Tubo de Pitot en seis tramos, y para datos aproximados generales el Programa H - Canales 2.0.

En época de estiaje o periodo seco el caudal evaluado al inicio del canal fue de 0.020 m³/s y en la época de lluvia 0.0341 m³/s. Pero el máximo fue de 0,07217 m³/s. El caudal se calculó con el Tubo de Pitot proporcionado por el Departamento de Recursos Hídricos de la UNC, y se realizó en los diferentes tramos del canal.

EVALUACIONES MES DE AGOSTO

Primer Tramo: 1 - 2: 00 - 00 + 22.55

Se realizó con Tubo de Pitot y el cálculo se hizo mediante la siguiente fórmula:



Fórmula: $Q = V \cdot A$

Donde: $V^2 / 2g = \Delta h$

Despejando: $V = 2 g \Delta h$

Midiendo Δh , obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 2.

Medición de diferencia de altura para calcular el caudal.

Nº DE MEDICIONES	Δh (m)
1	0.004
2	0.005
3	0.005
Promedio	0.005

Reemplazando en la fórmula, tenemos:

$$V = 2 g \Delta h$$

$$V = 2 * 9.81 \text{ m/seg}^2 * 0.005 \text{ m} \sqrt{\quad}$$

$$V = 0.313 \text{ m/seg.}$$

Luego: $Q = V * A$

$A = b * y$; donde: $b = 0.40 \text{ m}$, $y = 0.16 \text{ m}$

$Q_{1-2} = 0.313 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ($0.40 \text{ m} * 0.16 \text{ m}$)

$Q_{1-2} = 0.020 \text{ m}^3 / \text{seg.}$

En este primer tramo el canal capta toda la oferta hídrica del río Cumbemayo. La velocidad es baja debido, fundamentalmente, a que la pendiente es de 1.37 ‰, la que se mantiene hasta los 380 m. del canal donde cambia.

Segundo Tramo: 2 - 3: 00 + 22.55 al 00+94.30

En este segundo tramo el caudal se ve incrementado por la presencia de la primera quebrada, denominada en el estudio QA.

Esta da un aporte de $0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que permite incrementar el caudal en $0.0213 \text{ m}^3 / \text{seg.}$ En este tramo el caudal se ve enriquecido por la presencia de esta quebrada natural que permite un primer incremento en el volumen de agua, para lo cual los constructores hicieron una estructura de piedra que permitió unir la quebrada con el canal, facilitando una captación adecuada del agua.

Para aforar las quebradas existentes se utilizó el método volumétrico, consistente en determinar el volumen de agua en un tiempo determinado.

Tercer Tramo: 3 - 4 : 00 + 94.30 al 00 + 255.50

Se realizaron dos mediciones del caudal, en la parte inicial y final, para poder determinar la pérdida de agua en este tramo.

En el inicio de este tramo, el canal se abastece de dos quebradas: QB y QC. La primera presenta un caudal de $QB = 0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$, y se ubica a la margen derecha del canal. La segunda quebrada, ubicada a la misma altura de QB, tiene un caudal de $Qc = 0.0017 \text{ m}^3/\text{s}$ y está situada en la margen izquierda del canal.

En este mismo punto de inicio del tramo se tiene la primera pérdida de agua. Para efectos del estudio se la denomina QP1 y su caudal ha sido calculado por diferencia de caudales, de la siguiente manera:



$$Q_{2-3} + Q_B + Q_C - Q_{P_1} = Q_{3-4}$$

$$Q_{2-3} + Q_B + Q_C - Q_{3-4} = Q_{P_1}$$

$$Q_{P_1} = 0.0213 + 0.0015 + 0.0017 - 0.0224$$

$$Q_{P_1} = 0.0021 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esta agua que se pierde retoma el cauce natural del río Cumbemayo el que da a la cuenca del Océano Pacífico. Probablemente, en épocas de poco caudal, en este lugar se tapaba esta fuga de agua para facilitar la optimización del recurso hídrico al canal y beneficiar directamente a los habitantes del actual valle de Cajamarca (cuenca del Océano Atlántico).

En este mismo tramo se presenta otra pérdida visible de agua referida a la construcción de un puente-canal moderno (00+245m) que fue construido con la finalidad de que el agua siga el curso del Canal Prehispánico. En realidad, la parte original se ha perdido y se presume que, por la topografía, habría sido también un puente-canal para la misma finalidad. La obra moderna se encuentra en mal estado, permitiendo pérdida de agua por filtración, debido, probablemente, a que los materiales empleados no han sido los adecuados: mezcla pobre para unión de piedras utilizadas o un mal curado del concreto.

Por diferencia de caudales determinamos la pérdida de agua que hemos denominado $Q_{P_2} = 0.0027 \text{ m}^3 / \text{seg}$.

Cuarto Tramo: 4 - 5 : 00 + 255.50 al 00 + 760.35

Se realizaron dos mediciones del caudal, en la parte inicial y final, para poder determinar la pérdida de agua en este tramo. Al inicio de este tramo tenemos un aporte $Q_D = 0.0016 \text{ m}^3/\text{s}$. La evaluación para determinar la pérdida de agua en este tramo, lo hemos obtenido por diferencia de caudales. Obtenida la medición del caudal final, por diferencia de caudales, nos permite afirmar que en este tramo se pierde:

$$Q_{P_3} = 0.0213 - 0.0171$$

$$Q_{P_3} = 0.0042 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Las pérdidas se deben, fundamentalmente, al deterioro existente en el tramo, debido al descuido del monumento arqueológico. En el punto 00+47.80 se encuentra un pequeño túnel cuya entrada y salida tiene forma de ventanilla labrada en piedra por donde se conduce el agua. Sus connotaciones culturales trataremos más adelante. Es importante señalar que en este tramo se ubica la toma del canal nuevo. Esta se ubica aproximadamente a 00+660 metros, a la margen derecha del Canal Pre – Inca, debajo de una cueva ceremonial, captando las aguas que se pierden de éste y del río Cumbemayo.

Quinto Tramo: 5 - 6 : 00 + 760.35 al 00 + 855

Este tramo se inicia con un aporte de agua $Q_E = 0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$. La evaluación de caudal en este tramo, teniendo en cuenta las pérdidas que se presentan, no se puede determinar más que por diferencia de caudales tanto al inicio como al final. Al inicio, el caudal tiene un valor de $Q_{5-6\text{Inicial}} = 0.0196 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal final del tramo es de $Q_{5-6} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$ (final). Por diferencia de caudales el valor de agua que se pierde es:

$$Q_{P4} = 0.0196 - 0.0160$$

$$Q_{P4} = 0.0036 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El agua, a partir de este tramo, se deriva al cauce natural del río Cumbemayo. El Canal Prehispánico continúa con un leve trazo hasta la divisoria de aguas, donde se pierde. Lamentablemente, su falta de conservación no ha permitido que el trazo subsiguiente esté definido, limitando un estudio multidisciplinario más detallado en el resto del canal que obedecería a un financiamiento especial por sus altos costos de la investigación.

Tabla 3.

Resumen de evaluaciones mes de agosto.

TRAMO	$\Delta h(\text{m})$	MES DE AGOSTO			
		b(m)	y(m)	v(m/s)	Q(m ³ /s)
1-2	0.005	0.40	0.160	0.313	0.0200
2-3	0.004	0.40	0.190	0.280	0.0213
3-4(inicial)	0.004	0.40	0.200	0.280	0.0224
3-4(finial)	0.004	0.40	0.176	0.280	0.0197
4-5(inicial)	0.005	0.40	0.170	0.313	0.0213



TRAMO	$\Delta h(m)$	MES DE AGOSTO		$v(m/s)$	$Q(m^3/s)$
		$b(m)$	$y(m)$		
4-5(final)	0.004	0.40	0.153	0.280	0.0171
5-6(inicial)	0.004	0.50	0.140	0.280	0.0196
5-6(final)	0.005	0.60	0.085	0.313	0.0160

EVALUACIONES MES DE DICIEMBRE

Primer Tramo: 1 - 2: 00 - 00 + 22.55

Se aprecia un incremento de 14 litros respecto al mes de agosto. Esto se debe a que en este mes aumentan las precipitaciones pluviales y, por lo tanto, se incrementa el volumen de agua en el Río Cumbemayo.

Segundo Tramo: 2 - 3: 00 + 22.55 al 00+94.30

En este segundo tramo el caudal se ve incrementado por la presencia de la primera quebrada, denominada en el estudio QA, cuyo aporte fue calculado por diferencia de caudales.

$$Q_A = 0.0371 - 0.0341$$

$$Q_A = 0.0030 \text{ m}^3/\text{s},$$

Tercer Tramo: 3 - 4 : 00 + 94.30 al 00 + 255.50

En el inicio de este tramo, el canal se abastece de dos quebradas: Q_B y Q_C . La primera presenta un caudal de $Q_B = 0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$, la segunda quebrada tiene un caudal de $Q_C = 0.0027 \text{ m}^3/\text{s}$.

La primera pérdida de agua se da al inicio de este tramo y, por su ubicación, habría servido como un aliviadero para avenidas máximas de agua. Su cálculo, por diferencia de caudales es el siguiente:

$$Q_{2-3} + Q_B + Q_C - Q_{P1} = Q_{3-4}$$

$$Q_{2-3} + Q_B + Q_C - Q_{3-4} = Q_{P1}$$

$$Q_{p1} = 0.0371 + 0.0022 + 0.0027 - 0.0388$$

$$Q_{p1} = 0.0032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para efectos de la evaluación del caudal se midió al final del tramo, obteniendo los siguientes resultados:

La pérdida más visible se da en el puente-canal, lo que no descarta las diferentes pérdidas que se da por el deterioro existente en nuestro objeto de estudio. Esta pérdida se calcula por diferencia de caudales, de la siguiente manera:

$$Q_{p2} = 0.0388 - 0.0035$$

$$Q_{p2} = 0.0038 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Cuarto Tramo: 4 - 5 : 00 + 255.50 al 00 + 760.35

Al inicio de este tramo tenemos un aporte $Q_D = 0.0021 \text{ m}^3/\text{s}$ que se calculó por diferencia de caudales, teniendo como referencia el caudal final anterior:

$$Q_D = Q_{3-4 \text{ Final}} - Q_{4-5 \text{ Inicial}}$$

$$Q_D = 0.0371 - 0.035$$

$$Q_D = 0.0021 \text{ m}^3 / \text{seg (aporte)}$$

La evaluación obtenida en la medición de caudal, por diferencia de caudales, nos permite afirmar que en este tramo se pierde:

$$Q_{p3} = Q_{4-5 \text{ Final}} - Q_{4-5 \text{ Inicial}}$$

$$Q_{p3} = 0.0042 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Quinto Tramo: 5 - 6 : 00 + 760.35 al 00 + 855

Al inicio de este tramo tenemos un aporte $Q_E = 0.0037 \text{ m}^3/\text{s}$ que se calculó por diferencia de caudales, teniendo como referencia el caudal final anterior:



$$Q_E = Q_{4-5 \text{ Final}} - Q_{5-6 \text{ Inicial}}$$

$$Q_E = 0.0308 - 0.0345$$

$$Q_E = 0.0037 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

La pérdida de agua en este tramo se calculó por diferencia de caudales:

$$Q_{P4} = Q_{5-6 \text{ Final}} - Q_{5-6 \text{ Inicial}}$$

$$Q_{P4} = 0.0282 - 0.0345$$

$$Q_{P4} = 0.0063 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{P4} = 6.3 \text{ L} / \text{s}$$

Tabla 4.

Resumen de evaluaciones mes de diciembre.

MES DICIEMBRE					
TRAMO	$\Delta h(\text{m})$	$b(\text{m})$	$y(\text{m})$	$v(\text{m/s})$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$
1-2	0.007	0.40	0.230	0.371	0.0341
2-3	0.006	0.40	0.270	0.343	0.0371
3-4(inicial)	0.005	0.40	0.310	0.313	0.0388
3-4(final)	0.005	0.40	0.279	0.313	0.0350
4-5(inicial)	0.006	0.40	0.270	0.343	0.0371
4-5(final)	0.005	0.40	0.246	0.313	0.0308
5-6(inicial)	0.005	0.50	0.220	0.313	0.0345
5-6(final)	0.005	0.60	0.150	0.313	0.0282

Para aproximar al cálculo global de caudal para el canal, sin considerar pérdidas significativas, y considerando una sección promedio de 0.4 m y un tirante de 0.35, y conociendo que el programa H Canales está basado en la ecuación de Manning, se obtienen los siguientes resultados: Cuadros desde el N° 001-IV; 002 - IV; 003 - IV; 004 - IV; 005 - IV; 006 - IV; 007 - IV; 008 - IV; 009 - IV; 010 - IV; 011 - IV y 012 - IV.

Tabla 5.*Caudales finales.*

MESES DEL AÑO	CAUDALES OBTENIDOS	ISOYETA
ENERO	0.0224 m ³ /seg.	43.63 mm.
FEBRERO	0.0570 m ³ /seg.	52013 mm.
MARZO	0.07217 m ³ /seg.	61.36 mm.
ABRIL	0.0563 m ³ /seg.	46.51 mm.
MAYO	0.0197 m ³ /seg.	18.09 mm.
JUNIO	0.0196 m ³ /seg.	5.01 mm.
JULIO	0.0171 m ³ /seg.	4.68 mm.
AGOSTO	0.0160 m ³ /seg.	4.29 mm.
SEPTIEMBRE	0.0200 m ³ /seg.	21.42 mm.
OCTUBRE	0.0224 m ³ /seg.	43.10 mm.
NOVIEMBRE	0.0213 m ³ /seg.	38.35 mm.
DICIEMBRE	0.032 m ³ /seg.	44.38 mm.

El caudal más alto es del mes de Marzo que se obtuvo por el método del vertedero agudo de pared delgada igual a 0.07217 m³/seg., y el caudal mínimo es del mes de Agosto con el método del tubo de Pitot igual a 0.0160 m³/seg. Del cuadro N° 005 – IV se puede apreciar que existe una relación directa, verdadera y real a mayor precipitación mayor caudal y viceversa.



Figura 6.

Plano de planta 1. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.

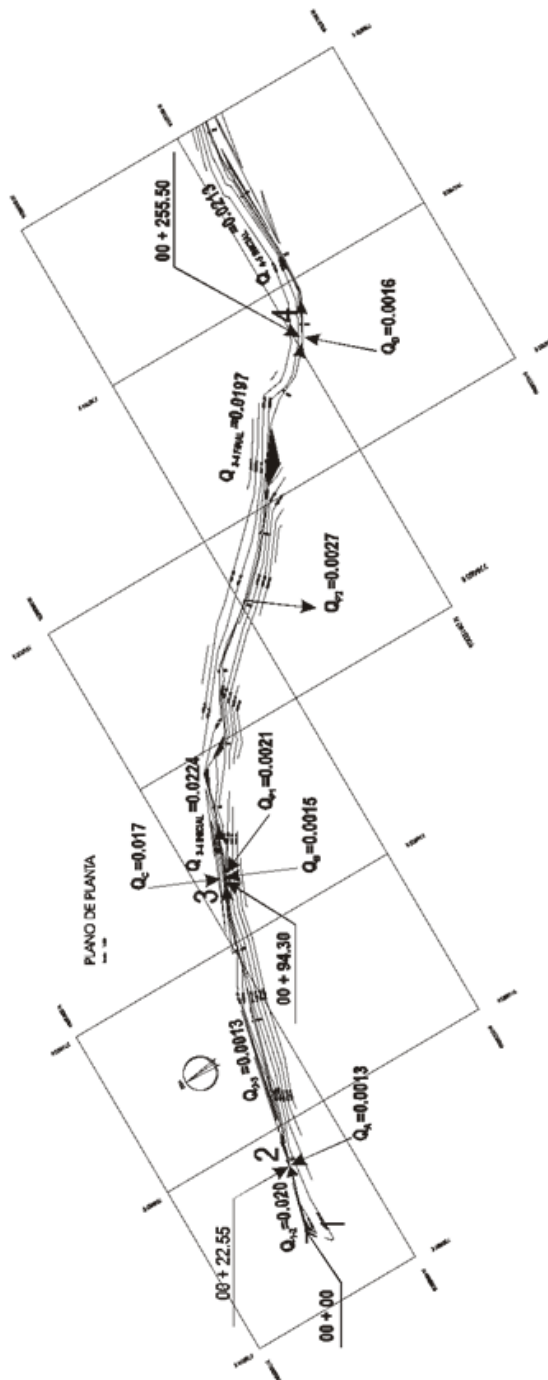


Figura 7.

Plano de planta 2. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.

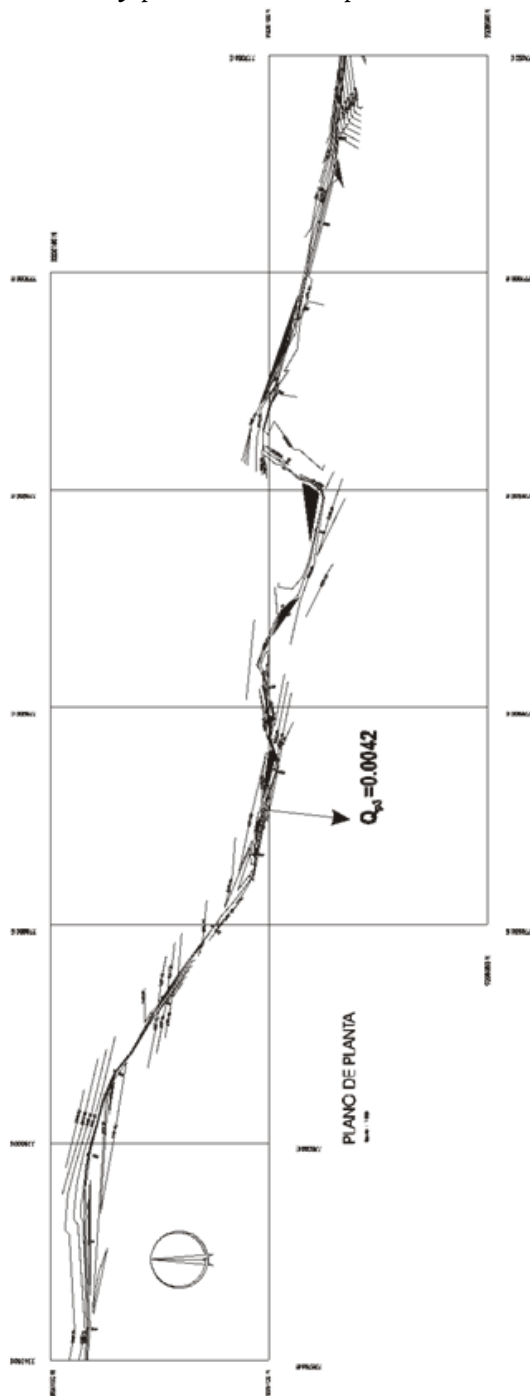




Figura 8.

Plano de planta 3. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes agosto.

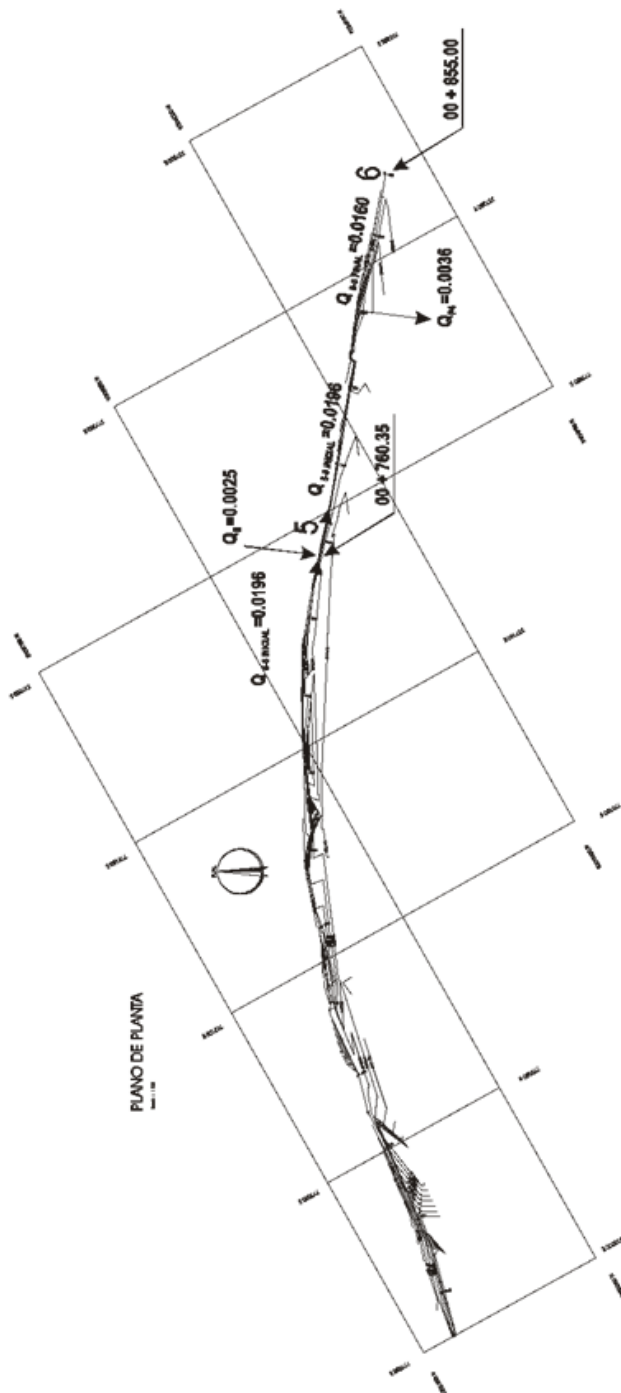


Figura 9.

Plano de planta 1. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.

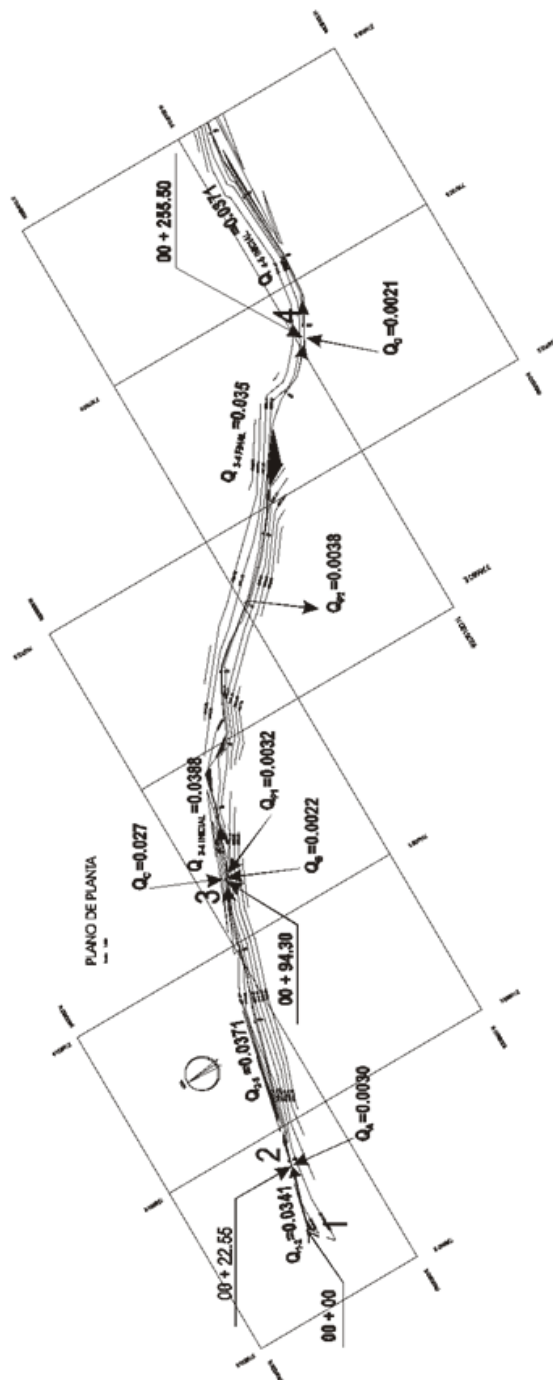




Figura 10.

Plano de planta 2. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.

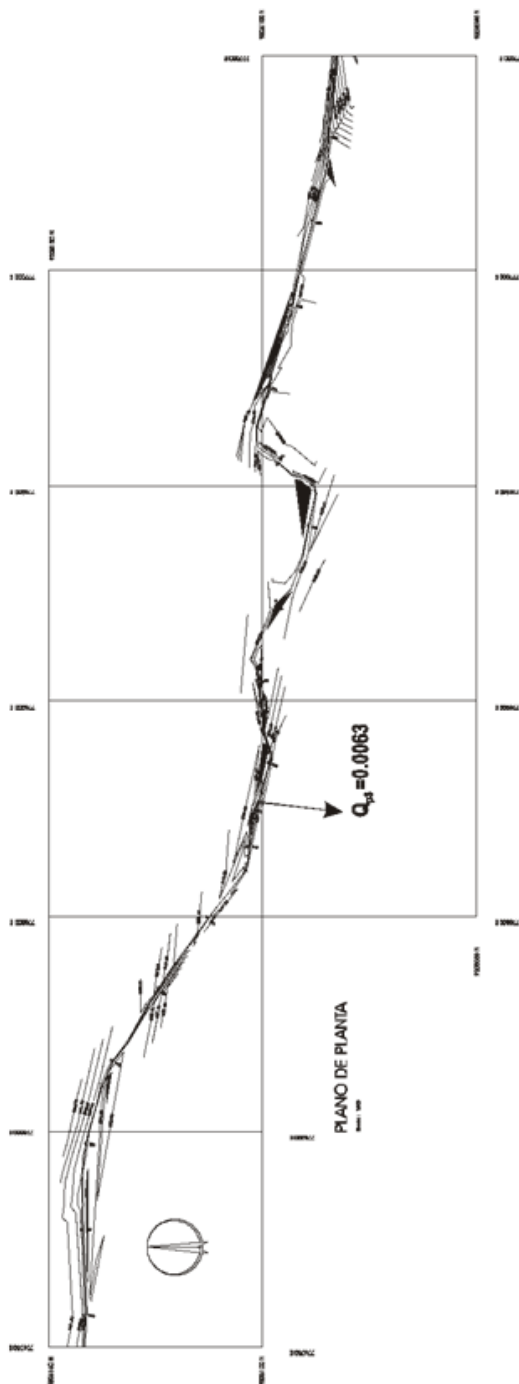
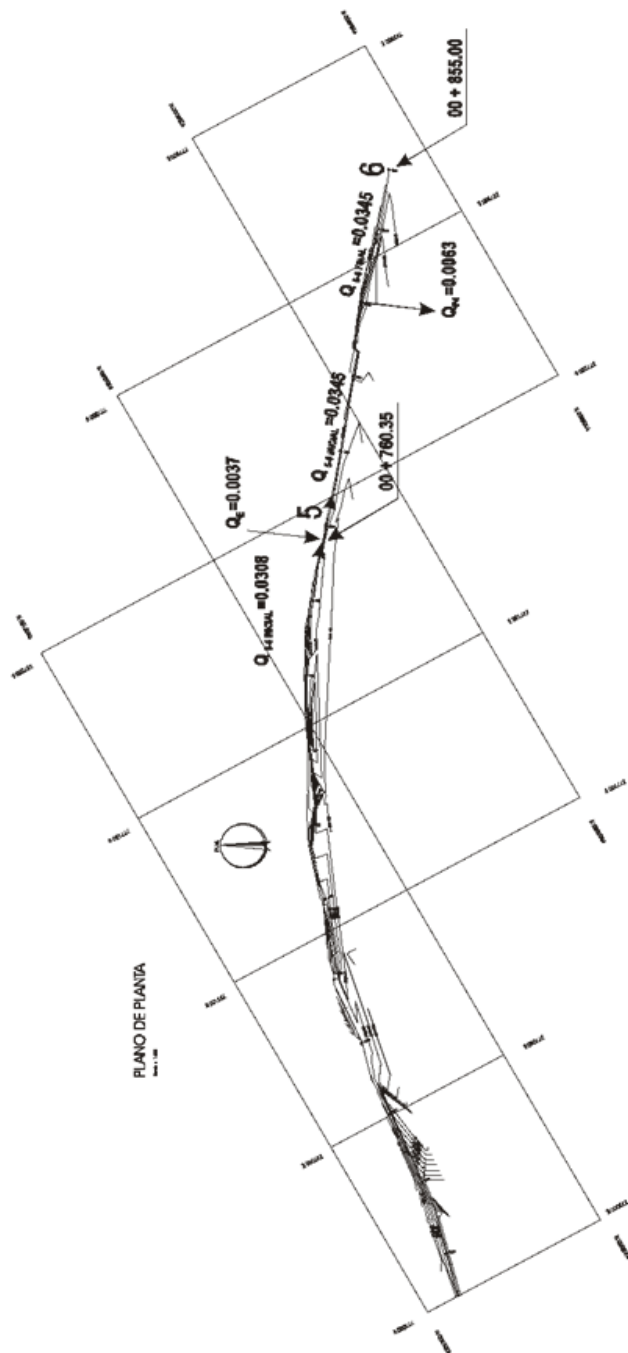


Figura 11.
Plano de planta 3. Ganancia y pérdida del canal por tramos. Mes diciembre.





4.5. Conclusiones

- Los parámetros hidráulicos del Canal Pre – Inca Cumbemayo están dentro de los rangos del Diseño de un Canal Contemporáneo, según la bibliografía consultada.
 - Con el Modelo Estadístico y el método Racional se calculó el caudal de diseño de la Quebrada Cumbemayo – Naranjo, así como también la Intensidad máxima de Diseño de 1,76 mm/h.
 - El agua del Canal Pre – Inca Cumbemayo, por su uso y aprovechamiento sostenible, se rige en los principios de Gestión integrada, valoración del agua, prioridad y participación de la población, seguridad jurídica y sostenibilidad, como Canal Hidráulico, microcuenca, subcuenca y cuenca.
 - Para la estimación del Coeficiente de rugosidad se procedió a reconocer y estimar varios factores primarios que afectan al Coeficiente obteniéndose finalmente un valor de “m” = 0,035 (Ven Te Chow, 1959).
 - El caudal de Febrero del 2000, es de mayor valor obtenido de todo el periodo de aforo que es igual a 0,0722 m³/seg; AH = 0,3770 m²; RH = 0,2005 m; F = 0,0758; V = 0,1914 m/seg; Pm = 1.880 m.; T = 0,580 m.; E = 0,652 m-kg/kg.
 - El Canal Pre- Inca Cumbemayo tiene cuatro grecas (zig zags) en su longitud Km. 03 + 162.6
- El modelo estadístico utilizado – C.I.A. – I.F.D. es igual a un Caudal de Diseño de 9,00 m³ /seg., se tiene una Oferta de Agua garantizada real de la zona Cumbemayo – Naranjo, con una Intensidad Máxima de Diseño de 1,76 mm/h.; para un tiempo de Retorno de 10 años; riesgo de Falla de 67,10% y una Vida Útil de 10 años.
- El caudal aforado máximo es de 0.07217m³/seg., punto en el cual los Parámetros Hidráulicos del Canal Cumbemayo sufren un desborde en el canal – puente porque el tirante normal se aumenta y cae el agua, ocasionando erosión en la parte inferior de la base del canal.
- Con un caudal igual a 0.057m³/seg., el canal Pre-inca Cumbemayo funciona



de acuerdo de su diseño correctamente los Parámetros Hidráulicos, tal como se aprecia en el campo.

- Con el caudal mínimo de $0.016 \text{ m}^3/\text{seg.}$, funciona de acuerdo a su diseño como fue ejecutado, pero en los tramos estudiados de presenta los problemas de la sedimentación y los problemas del crecimiento de la vegetación en el canal Pre – Inca Cumbemayo, ocasionando erosión biológica y química.

4.6. Recomendaciones

- La política de coordinación de la Escuela de Post - Grado con su Director a la cabeza, que coordine con los diferentes grupos de Comités Científicos para que así asesore de verdad con los futuros maestros en ciencias en todas las menciones que la Escuela ofrece.
- A la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca, que a través de sus Maestros incentiven el estudio del manejo de Infraestructura de Riesgo Alto Andinas como es el Canal Pre Inca Cumbemayo, especialmente en lo concerniente al uso y aprovechamiento sostenible del agua.
- Se incremente la política de coordinación de la Escuela de Post Grado con la diferentes entidades públicas y privadas que juegan un rol preponderante e importante en el desarrollo, aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y protección del entorno, a fin de puedan apoyar en la gestión de proyectos hidráulicos.
- Se pide a la Universidad Nacional de Cajamarca dé mayor impulso a lograr mejor el nivel técnico y académico de los estudios, ensayos, tesis referente a mejorar las condiciones de la microcuenca Cumbemayo–Naranjo, y por ende al canal pre inca Cumbemayo que lo cobija en su seno.
- La operación y Mantenimiento del Canal Pre – Inca Cumbemayo será en forma continua por un personal capacitado en obras de infraestructura de recursos hídricos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avaría, S. et al. (eds.) (2004). *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile*. CONA
- Bauer, B. (1998). *The sacred landscape of the Inca: The Cuzco Ceque system*. University of Texas Press
- Bauer, B. (2004). *Ancient Cusco heartland of the Inca*. University of Texas Press
- Brookfield, H.C. (1972). Intensification and deintensification in Pacific agriculture: A theoretical approach. *Pacific Viewpoint*, 13, pp. 30-48
- Bos, M. G. (Ed.), 1978. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, 464 pp
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica-Concytec (2018). *Ley 28303, Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - Ley 28613, Ley del Concytec*. Recuperado de: <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/ley-marco-de-cte-it-ley-concytec>
- Deming, D. (2010). *Science and Technology in World History Volume 1: The Ancient World and Classical Civilization*. McFarland & Company, Inc., Publishers

- El Peruano, (2018, 5 de julio). Ley que modifica diversos artículos de la Ley 28303, Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica; y de la Ley 28613, Ley del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec). Recuperado de: <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/ley-marco-de-cte-it-ley-concytec>
- Freeman, C. (2004). *Egypt, Greece, and Rome: Civilizations of the ancient Mediterranean*. Oxford University Press
- Gagnon, L. (2013). An ancient well, and the city drainage canals, in the upper town of the site of Lothal, India. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Sanitation_of_the_Indus_Valley_Civilisation#/media/File:Lothal_-_ancient_well.jpg
- Haas, J. et al. (2005). Power and the emergence of complex polities in the Peruvian preceramic. *Archaeological Papers of the American Anthropological Association*, 14, pp. 37–52
- Jansen, M. (1989). Water supply and sewage disposal at Mohenjo-Daro. *World Archaeology, The Archaeology of Public Health*, 21 (21), pp. 177–192
- Konen, J. (2006). Water management, ritual and community in tropical complex societies. In Lucero, L. & Fash, B. (Ed.). *Precolumbian water management. Ideology, Ritual and Power*. University of Arizona Press
- Lucero, L. (2006). The political and sacred power of water in classic Maya society. In Lucero, L. & Fash, B. (Ed.). *Precolumbian water management. Ideology, Ritual and Power*. University of Arizona Press
- Lucero, L. (2006). The political and sacred power of water in classic maya society. In Lucero, L. & Fash, B. (Ed.). *Precolumbian water management. Ideology, Ritual and Power*. University of Arizona Press
- Mays, L. & Gorokhovich, Y. (2010). *Water technology in the Ancient American Societies*. Springer
- Mithen, S. (2012). *Thirst. Water and Power in the Ancient World*. Harvard University Press



- Montgomery, S. & Kumar, A. (2016). *A History of Science in World Cultures. Voices of Knowledge*. Routledge
- Musgrave, S. et al. (2019). Teaching varies with task complexity in wild chimpanzees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (2), pp. 1-8
- Nichols, D. et al. (2006). Water management and political economy in formative period Central México. In Lucero, L. & Fash, B. (Ed.). *Precolumbian water management. Ideology, Ritual and Power*. University of Arizona Press
- Sandoval, J.R. et al. (2018). Genetic ancestry of families of putative Inka descent. *Molecular Genetic Genomics*, 293, pp. 873–881
- Scarborough, V. & Valdéz, F. (2003). The engineered environment and political economy of the Three Rivers Region. In *Heterarchy, Political Economy and the Ancient Maya: The three rivers region of the east central Yucatan peninsula*. University of Arizona Press
- Scarborough, V. et al. (1999). Early Statecraft on Bali: The Water Temple Complex and the Decentralization of the Political Economy. *Research in Economic Anthropology*, 20, pp. 299-330
- Shady, R. (2006). La civilización Caral: Sistema social y manejo del territorio y sus recursos. Su trascendencia en el proceso cultural andino. *Boletín de Arqueología PUCP*, 10, pp. 59-89
- Sherbondy, J. (1992). Water ideology in Inca ethnogenesis. In Dover, R. et al (Ed.). *Andean Cosmologies Through Time: Persistence and Emergence*. Indiana University Press
- Taube, K. (2000). Lightning celts and corn fetishes: The Formative Olmec and the development of maize symbolism in Mesoamerica and the American southwest. *Olmec Art and Archaeology in Mesoamerica*. Yale University Press.
- Ven Te Chow. (1998). Hidrología aplicada. Segunda Impresión. Editorial, Mc. Graw – Hill; México DF, 586 pp.



Wright, K. et al. (1997). Machu Picchu: Ancient hydraulic engineering. *J Hydraulic Eng, ASCE*, 123 (10), pp. 838–843

Wright, K. (2006). *Tipon. Water Engineering Masterpiece of the Inca Empire*. ASCE Press

Wright, K. (2016). *Incamisana. Engineering an Inca Water Temple*. ASCE Press

Joel Petter Calderón Gutiérrez

Correo: mostro2415@gmail.com

Perfil: Ingeniero Civil e Ingeniero Forestal. Colegiado en el Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Departamental Chimbote – Ancash, con CIP N° 71626. Maestro en Ciencias: Recursos Naturales, Agua – Suelo, Universidad Nacional de Cajamarca. Doctor en Ciencias Ambientales – Universidad Nacional de Trujillo. Ex docente de la Universidad Nacional de Cajamarca, ex docente Universidad Nacional del Santa, ex docente de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ex docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ex docente de la Universidad Nacional de Trujillo, ex docente de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua. Autor de artículo científico en la Revista Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Trujillo. Coautor de investigaciones científicas de la Universidad Nacional de Cajamarca. Asimismo, es investigador, consultor de obras públicas con C - 4805 – OSCE. Actualmente ejerce funciones de consultorías en obras públicas.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3007-6017>

Afiliación: Universidad Nacional de Cajamarca.

Rosa Ricardina Chávez Farro

Correo: rchavezf@unc.edu.pe

Perfil: Licenciada en Enfermería. Maestra en Ciencias: Salud Pública. Doctorado en Salud Pública – Universidad Nacional de Trujillo. Docente asociada adscrita al Departamento Académico de Enfermería de la Facultad Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Cajamarca. Docente de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Autora de artículos científicos para prestigiosas revistas como Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, Scielo, Anales de la Facultad de Medicina y Revista Ciencia y Tecnología.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5699-6447>

Afiliación: Universidad Nacional de Cajamarca.



**EDITORIAL
KUNTUR**