



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**



TESIS

**EFICIENCIA HÍDRICA DEL SISTEMA DE RIEGO INKA
DE TIPÓN, CONSIDERANDO LA CONCEPCIÓN DEL SISTEMA Y SUS OBRAS
DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
CUSCO - 2020**

**Presentado por: M. S. VÍCTOR MANUEL ARANGOITIA VALDIVIA
Para optar el Grado Académico de Doctor en Medio Ambiente
y Desarrollo Sostenible**

Asesor: Dr. Herberth Cosio Dueñas

CUSCO – PERÚ

2022



DEDICATORIAS

A la memoria de Carlos Nuñez Anavitarte, el mas grande intelectual nacido en la tierra de los Inkas, militante de la causa más noble del espíritu humano: la lucha por un mundo mejor, más justo y solidario, un mundo de libertad, sin amos ... sin esclavos.

A la memoria, de mis abuelos: don Quintín Valdivia Dávila, de quien el padre de su progenitor, al retornar de su educación en Bruselas, entregó sus tierras a los campesinos de Unicachi y Tinicachi, en mi lejano Yunguyo y Hortensia Huarachi Sánchez, el alma más noble que conocí en este mi paso por la tierra. A la memoria imperecedera, también, de Fortunato René Arangoitia Huisa y Primitiva Nélida Valdivia Huarachi, mis padres.

Finalmente, a la memoria de Zoilo Zamalloa Masías, maestro y amigo entrañable quien, estando en vida, estimuló permanentemente la realización de este trabajo. Tarea cumplida camarada!



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Andina del Cusco, cuyo nombre epónimo inspiró permanentemente la realización del presente trabajo. Por haberme formado en sus aulas universitarias en el difícil propósito de hacer de mi, un ser humano mejor.

A mi familia, a mi esposa Luz y a mis hijos Katherin, Jorge Víctor y Maxito, quienes tuvieron que soportar injustificadas ausencias, con la esperanza de que este logro, algún día se haga realidad.

Siempre habrá una deuda de gratitud a mi Asesor Metodológico, el Dr Herberth Cosio Dueñas.

A todos los que generosamente estimularon este trabajo. Sería largo enumerar a todos, pero el Dr Alejandro Pletickosich Picón, ex Director de la EPG, merece una especial recordación por el apoyo invaluable que me dio para hacer posible esta investigación.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda el tema de la escasez del agua dulce como un problema del mundo contemporáneo y futuro y teniendo en cuenta que los sistemas de riego agrícola consumen alrededor del 70% del agua dulce disponible, plantea la posibilidad de que los conocimientos y prácticas de la tecnología ancestral, podrían contribuir a mejorar los niveles de eficiencia en el uso del agua con fines de riego. Evalúa la eficiencia del sistema de riego Inka de Tipón considerando la concepción del sistema y sus obras de infraestructura hidráulica. La investigación fue planteada con un enfoque mixto, cualitativo-cuantitativo. El aspecto cuantitativo, está referido a las estructuras de captación, conducción y distribución del sistema, mientras que el aspecto cualitativo, se refiere a su concepción de acuerdo a la cosmovisión andina. La investigación ha permitido establecer la eficiencia del sistema de riego Inka de Tipón, considerando sus eficiencias de captación, conducción y distribución, en el orden del 94%.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia, riego, captación, conducción, Tipón, cosmovisión,



ABSTRACT

This research work addresses the issue of fresh water scarcity as a problem of the contemporary and future world and taking into account that agricultural irrigation systems consume around 70% of the available fresh water, it raises the possibility that the knowledge and practices of ancestral technology could contribute to improving the levels of efficiency in the use of water for irrigation purposes. Evaluates the efficiency of the Inka de Tipón irrigation system considering the conception of the system and its hydraulic infrastructure works. The research was proposed with a mixed, qualitative-quantitative approach. The quantitative aspect refers to the collection, conduction and distribution structures of the system, while the qualitative aspect refers to its conception according to the Andean worldview. The investigation has allowed to establish the efficiency of the Inka de Tipón irrigation system, considering its catchment, conduction and distribution efficiencies, in the order of 94%.

KEY WORDS: Efficiency, irrigation, catchment, conduction, Tipon, cosmovision,



PISYACHISQA

Kay kunan yachay maskay llamkayqa qawarinmi unu upyanapaq pisiyayninmanta, kunan pacha, hamuq pachapa sasachakuynin hina, chaynallataqmi qawarin chay qarpasqa kasqan sitiokuna nisqakunam yaqa 70% nisqa miski unu kasqanmanta, chaymi hatarichin chay yachaykunata, ruwaykunata ima ñaupay yachay nisqamanta yanapanmanmi qarpanapaq unu allinta kamachinapaq. Tiponpi inka qarpanapata nisqapa allin ruwayninta chaninchan kay ruruqa llamk'arqan nisqapa imaynatachus yuyaykusqa Karqan chayta qawaripa chaymanta qarpanapaq ruwaykuna nisqa llamkayninkunata qawaripa. Chay qawaykachay ruwakurqa huk chaqrusqa llamkay, cualitativo-cuantitativo nisqawanmi. Chay caso cuantitativo nisqataqmi riman maypi huñusqa kasqan, yarqanta unuta apananpaq, rapinanpaq ima, aspecto cualitativo nisqañataqmi riman chay imaynatachus yuyaykusqa karqan chayta nisqamanta, chaytaqa riman kay pacha qawariyman hina. Chay qawaykachay qawayta saqiwanchik chay sistema de riego Inka de Tipón nisqapa allin ruwayninta takyachiyta, chaypaqmi qawarina kusa kaq maypi unu huñusqa kasqan yarqanta unuta apananpaq, rapinampaq ima nisqa eficiencias de captación, conducción y distribución nisqa, yaqa 94% nisqapi.

CHANIYOK SIMIKUNA: kusakaq, yarqa, yarqanta unuta apananpaq, Tiponpi, pachamamanta qhawariy.



INDICE GENERAL

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
PISIYACHISQA.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1. PROBLEMA GENERAL MIXTO	5
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS CUALITATIVOS.....	5
1.2.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS CUANTITATIVOS	5
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3.1. CONVENIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.2. RELEVANCIA SOCIAL.....	6
1.3.3. IMPLICANCIAS PRÁCTICAS.....	7
1.3.4. VALOR TEÓRICO.....	7
1.3.5. UTILIDAD METODOLÓGICA	8
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4.1. OBJETIVO PRINCIPAL (OBJETIVO GENERAL MIXTO).....	8



1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS CUANTITATIVOS.....	9
1.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS CUALITATIVOS	9
1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.6. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	10
1.6.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	10
1.6.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	11
1.6.3. DELIMITACIÓN TEÓRICA.....	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	12
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	12
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	17
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	25
2.2. BASES TEÓRICAS	30
2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	40
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL MIXTA.....	40
2.3.2. HIPÓTESIS CUANTITATIVAS.....	40
2.3.3. HIPÓTESIS CUALITATIVAS (HIPÓTESIS DE TRABAJO).	40
2.4. VARIABLES Y CATEGORÍAS DE ESTUDIO.....	41
2.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	41
2.4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	41
2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	42
CAPÍTULO 3: MÉTODO	47



3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.2. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	47
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.4. POBLACIÓN Y ESCENARIOS DE ESTUDIO	49
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.6. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS	50
3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS: TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	53
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS.....	55
4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
4.2. ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS	58
4.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	63
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN	65
5.1. CONCEPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN	65
5.1.1 SOBRE EL PLANEAMIENTO DEL SISTEMA	67
5.1.2 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICAS	81
5.1.3 PLANTEAMIENTO HIDRÁULICO.....	82
5.1.4 COSTOS Y BENEFICIOS	94
5.1.5 IMPACTO AMBIENTAL	96
5.2. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN EL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN.....	108



5.2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	108
5.2.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN	113
5.2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	129
5.3. EFICIENCIA HÍDRICA DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN.....	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
CONCLUSIONES.....	133
RECOMENDACIONES.....	135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS.....	141
MATRIZ DE CONSISTENCIA CONCEPTUALIZACIÓN (PLAN TEÓRICO) ..	142
MATRIZ DE CONSISTENCIA CONCEPTUALIZACIÓN (PLAN OPERACIONAL)	144
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 VARIABLES Y CATEGORÍAS DE ESTUDIO	42
Tabla 2 MATRIZ DE LEOPOLD	108
Tabla 3 PÉRDIDAS EN LOS CANALES DEL SISTEMA SEGÚN LOS AUTORES INDICADOS	128



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 El relieve y emplazamiento de Tipón.....	73
Figura 2 Esquema hidráulico del sistema de riego Inka de Tipón.....	89
Figura 3 Representación esquemática de la fuente de aguas subterráneas	93
Figura 4 La captación de aguas subterráneas.....	112
Figura 5 Contracción brusca a la salida de la fuente de aguas subterráneas.....	118
Figura 6 Un salto o caída	121
Figura 7 La denominada fuente ceremonial	124
Figura 8 La rápida en el canal aductor	127



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La eficiencia es un concepto desarrollado por la Economía que va asociado al término escasez, también definido por la Economía. Según Mankiw, eficiencia es la propiedad de la sociedad de aprovechar al máximo sus escasos recursos y escasez es el carácter limitado de los recursos de la sociedad (Mankiw, 2017). En esta investigación se busca identificar, empleando los conceptos de la ingeniería y economía actuales, los niveles de eficiencia hidráulica alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, teniendo en cuenta que la escasez del agua dulce es un problema del mundo contemporáneo y que la recuperación de los conocimientos de la tecnología ancestral puede contribuir a mejorar los niveles de eficiencia en el uso del agua para riego.

La escasez del agua no siempre constituyó un problema. En un Artículo publicado por la Revista Cambio Climático, Movimientos Sociales y Políticas Públicas, editado por CLASCO, Mirta Malvares Miguez (Malvares, 2013) hace un minucioso análisis acerca de la gestión del agua en el contexto de la globalización. El documento señala que fue en la década de los años noventa cuando se puso de manifiesto la escasez del agua a través de la denominada *Declaración de los Principios de Dublin sobre el agua y el desarrollo sostenible*. Estos Principios fueron reconocidos por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que tuvo lugar en Rio de Janeiro en junio de 1992. Los Principios de Dublín son cuatro enunciados que, entre otros aspectos, señalan que el agua es un recurso finito y vulnerable y que tiene un



valor económico. Antes de esta Declaración se consideraba al agua como un bien social y un recurso inagotable.

En el año 2000, argumentando que la escasez del agua obedece a una crisis de gobernabilidad por la falta de políticas hídricas integrales en los Estados, se asiste a un nuevo cambio paradigmático mediante la implementación del modelo de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que plantea la necesidad de formular leyes nacionales en todos los Estados, acerca del agua y su manejo.

En el Perú, en marzo de 2009, se emite la Ley N° 29338, Ley de los Recursos Hídricos, que reconoce la GIRH como un Principio. En su Artículo 2°, la ley establece que el agua es un bien de uso público y que su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación y que no hay propiedad privada sobre el agua. Esta misma ley crea el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos y por Decreto Legislativo N° 997 de 12 de marzo de 2008, se crea la Autoridad Nacional del Agua: ANA, que es la máxima autoridad nacional en la administración del agua.

Estadísticamente, para fundamentar el problema de la escasez del agua, citaremos el artículo “La problemática Global del Agua, Estadísticas Clave”, publicado por Solociencia (www.solociencia.com), donde podemos observar que, aun cuando el 70% de la tierra está cubierta por agua, únicamente el 2.5 % de este volumen es agua dulce, siendo el 97.5% restante, agua salada. De ese pequeño 2.5% de agua dulce, casi el 70% está congelado en los glaciares y del restante 30% de agua dulce, la mayor parte se encuentra formando la humedad del suelo, o permanece en profundas e inaccesibles capas acuíferas



subterráneas; de tal manera que menos del 1% del agua dulce del mundo está disponible para el consumo humano.

Por su parte, el PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), en su Informe "Perspectivas del Medio Ambiente Mundial", señala que la escasez de agua dulce es uno de los siete problemas ambientales fundamentales. Dice también, que el cambio climático constituye una seria amenaza sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua dulce, sobre todo en las zonas áridas donde la escasez de agua es ya un problema serio.

Debido a que el agua dulce no está geográfica ni temporalmente distribuida de manera homogénea, se están generando conflictos por el acceso al agua, tanto internacionalmente como al interior mismo de los países. En el Perú son conocidos los conflictos generados por el uso del agua para riego en las zonas limítrofes de Arequipa y Moquegua, de Arequipa y Puno y, en la región Cusco, en la zona limítrofe con Arequipa a causa del trasvase de las aguas del río Apurímac para dotar de agua al proyecto Majes – Siguan. Esta situación generó movimientos sociales de gran envergadura y alto costo social para las provincias altas de Espinar y Chumbivilcas.

De continuar el actual consumo del agua y de acuerdo a lo informado por la Organización de las Naciones Unidas y comentado por <http://www.elfinanciero.com.mx>, en el año 2030 el mundo enfrentará una severa escasez del líquido. Según el informe, el déficit será del orden del 40% del agua necesaria para subsistir y mantener las actividades productivas en las condiciones actuales. Para el año 2050, la agricultura (el sector que más agua consume), tendrá necesidad de producir un 60% más de alimentos a nivel mundial, aunque para



los países en desarrollo, los cálculos estiman que el incremento necesario será del orden del 100%. La demanda de bienes manufacturados también tendrá que incrementarse, lo que aumenta la presión sobre los recursos hídricos. En países de rápida industrialización como China, el consumo del agua al 2050, se multiplicará por cinco.

Actualmente, 748 millones de personas en el mundo, están privadas de acceso a fuentes de agua preservadas de la contaminación, lo que equivale a que uno de cada 10 habitantes en el mundo no tenga acceso al agua apta para su consumo. Estas cifras irán incrementándose con el tiempo.

Ante esta realidad, resulta evidente la necesidad de tomar iniciativas que, aún cuando no resuelvan el problema en su integridad, al menos contribuyan a su solución. Si se tiene en cuenta que los sistemas de riego agrícola consumen alrededor del 70% del agua dulce disponible, es imperativo analizar la gestión de este recurso. En la presente investigación se busca identificar los niveles de eficiencia del uso del agua alcanzados en el sistema de riego Inka de Tipón empleando los conceptos modernos de la economía y la ingeniería hidráulica.

1.2. FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque mixto porque aborda un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos, de manera conjunta, para responder al planteamiento del problema. Así, la medición de la eficiencia requiere de datos cuantitativos, mientras que, aspectos como el planteamiento del sistema de riego y su conceptualización adecuada al medio natural, requiere de la evaluación de datos cualitativos.



1.2.1. PROBLEMA GENERAL MIXTO

¿Cuáles fueron los niveles de eficiencia hídrica, alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS CUALITATIVOS

- a) ¿Cuál fue la importancia del planeamiento en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?
- b) ¿Cómo influyó la oferta y la demanda del agua en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?
- c) ¿Cómo afectó el planteamiento hidráulico en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?
- d) ¿De qué manera influenciaron los costos y beneficios en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?
- e) ¿Qué repercusiones tuvo el impacto ambiental en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?

1.2.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS CUANTITATIVOS

- a) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron las captaciones del sistema de riego Inka de Tipón?
- b) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron los canales de conducción del sistema de riego Inka de Tipón?
- c) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron los canales de distribución del sistema de riego Inka de Tipón?



1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. CONVENIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es conveniente porque aborda un problema actual y futuro: la escasez del agua dulce disponible para el consumo humano. Con este propósito, se plantea evaluar la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, considerando los dos aspectos más importantes de un proyecto de riego agrícola: la concepción o planteamiento del sistema y el diseño de las obras de infraestructura hidráulica que lo compone. Esta evaluación nos permitirá conocer, aun cuando sea en parte, los criterios de diseño considerados por los ingenieros inkas y, de ser posible, recuperar algunos aspectos de la tecnología ancestral empleada, criterios que podrían ser replicados en los proyectos de riego que se plantean y construyen en la actualidad en la sierra del Perú.

El presente estudio no solucionará el problema de la escasez del agua. Se evaluará la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, con el propósito de conocer los niveles de eficiencia alcanzados en este sistema de riego y, si son adecuados, replicarlos recogiendo la experiencia tecnológica de los antiguos peruanos; o, corregirlos mejorándolos con la ingeniería moderna

1.3.2. RELEVANCIA SOCIAL

La investigación alcanza relevancia social desde el momento en que todos los miembros de la sociedad somos consumidores de la producción agrícola y esta requiere del riego artificial para incrementar y mejorar su producción,



de manera que toda la población seremos beneficiarios directa o indirectamente, si se mejora la eficiencia del riego y se dispone de mayores volúmenes de agua para las actividades del hombre.

Asimismo, se espera que la puesta en evidencia del conocimiento ancestral coadyuve en el fortalecimiento de la autoestima y la identidad del poblador peruano en general y los del poblador andino en particular, al demostrarse que nuestros antepasados alcanzaron elevados niveles de conocimiento y práctica en la formulación de proyectos de riego agrícola.

1.3.3. IMPLICANCIAS PRÁCTICAS

La investigación planteada tendrá implicancias prácticas favorables porque permitirá reconocer en el conocimiento andino, los criterios y técnicas empleadas en la concepción y ejecución de obras de riego y estos resultados podrían darnos algunas sugerencias para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del agua en proyectos de riego modernos. En cualquier caso, la cuantificación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, abrirá la posibilidad inmediata de profundizar las investigaciones en determinados aspectos específicos de los componentes de un sistema de riego.

1.3.4. VALOR TEÓRICO

El valor teórico de la presente investigación radica en el hecho de que nos permitirá conocer el comportamiento de las variables o aspectos que intervienen en los sistemas de regadío agrícola, así como la relación que guarda cada uno de estos aspectos con la eficiencia del riego.

Los resultados obtenidos permitirán, en algunos casos, reafirmar los criterios de los planteamientos que se esgrimen en la formulación de proyectos de



riego modernos y, seguramente, negarlos en otros casos; pero, con seguridad, nos permitirá comparar criterios conocidos en la teoría moderna, con los criterios que animaron a los ingenieros de la cultura andina, que permitieron la construcción de obras, como Tipón, que tiene mas de quinientos años y que permanece intacta. Téngase en cuenta que la vida útil de los proyectos de riego modernos es concebida con un horizonte de vida útil de 30 años en promedio.

Adicionalmente, el desarrollo del presente trabajo abrirá la posibilidad de nuevas investigaciones tales como los estudios edafológicos, del flujo subterráneo, de especies cultivadas y cultivables en la zona, de las técnicas de riego, etc. en el campo de la agricultura; pero también se abren posibilidades para la hidrología, la climatología, el estudio de los recursos naturales y otras especialidades.

1.3.5. UTILIDAD METODOLÓGICA

La investigación propuesta, proporcionará un criterio de comparación del conocimiento ancestral, que se considera puramente fáctico, con los criterios empleados por la ingeniería moderna que se fundamenta en el conocimiento de las leyes físicas y de la matemática superior.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO PRINCIPAL (OBJETIVO GENERAL MIXTO)

Identificar y determinar los niveles de eficiencia hídrica, alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica.



1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS CUANTITATIVOS

- a) Determinar el nivel de eficiencia hídrica que alcanzaron las captaciones, en el sistema de riego Inka de Tipón.
- b) Determinar el nivel de eficiencia hídrica de los canales de conducción, en el sistema de riego Inka de Tipón.
- c) Determinar el nivel de eficiencia hídrica de los canales de distribución, en el sistema de riego Inka de Tipón.

1.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS CUALITATIVOS

- a) Establecer la importancia que tuvo el planeamiento, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- b) Establecer la influencia de la oferta y la demanda del agua, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- c) Establecer como afectó el planteamiento hidráulico, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- d) Establecer la influencia de los costos y beneficios, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- e) Establecer las repercusiones del impacto ambiental, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.

1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación propuesta es viable porque es parte del proceso de formación académica del programa doctoral del investigador, quien se constituye en el recurso humano más calificado para llevar adelante este trabajo. Físicamente, el



sistema de riego Inka de Tipón, se encuentra próximo a la ciudad del Cusco y es de fácil acceso por la vía asfaltada Cusco-Puno.

Los recursos financieros necesarios para la investigación serán, aportados por el investigador, sin perjuicio de buscar financiamiento de cualquier entidad académica interesada en el tema.

Otro aspecto que favorece la viabilidad de la investigación es el acceso a la información, tanto documental como virtual. La bibliografía documental, se encuentra disponible en las bibliotecas especializadas de las Universidades Andina y San Antonio Abad del Cusco y en la biblioteca personal del investigador acuñada en varios años de docencia universitaria en la especialidad.

Cuenta en favor de la viabilidad, asimismo, la formación académica del Investigador, quien ostenta el grado académico de Master of Science in Civil Engineering con concentración en Recursos Hídricos, por la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

1.6. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.6.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio de investigación propuesto tendrá lugar en el parque arqueológico de Tipón ubicado a 21 km de la ciudad del Cusco. Geográficamente, Tipón se encuentra en la Comunidad Campesina de Choquepata, distrito de Oropesa, provincia de Quispicanchis del departamento (región) del Cusco.



1.6.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El espacio temporal que abarca la investigación propuesta, considera sus inicios en las culturas preincas pues el sistema de riego Inka de Tipón fue la culminación de un trabajo anterior a estos. De acuerdo con McEwan (Wright, McEwan, & Wright, 2008), estamos hablando de “*una cadena de antepasados que a través de 4000 años acumularon una herencia que los incas supieron capitalizar*”. Se trata pues de una investigación que es en parte, retrospectiva, y cuyo inicio se enmarca en la historia preincaica, en los albores de la cultura andina, los cuales no son totalmente conocidos por los arqueólogos y los historiadores, quienes hacen referencia como la primera y de mayor influencia, a la cultura Chavín que se desarrolló alrededor del año 1400 a. de C; de manera que el espacio temporal a ser considerado va desde esos años hasta la actualidad; aunque conviene precisar que los alcances de esta investigación se limitan a la experiencia tecnológica tangible en el sistema de riego Inka de Tipón tal como se encuentra en la actualidad, no correspondiendo la investigación a su desarrollo histórico ni a las etapas de este sistema de riego que fueron superadas en el tiempo.

1.6.3. DELIMITACIÓN TEÓRICA

Teóricamente, la presente investigación se desarrolla dentro de la especialidad de Gestión de los Recursos, del Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina del Cusco.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Tipón Obra Maestra de la Ingeniería Hidráulica del Imperio de los Incas

Kenneth Wright K, con G. McEwan y Ruth Wriqth (Wright, Kenneth, 2008)

Objetivo, Proporcionar a los ingenieros actuales y personas interesadas, una apreciación de la civilización inca a través del análisis de las obras que dejaron en Tipón. Su estudio, dicen los autores, permitirá conocer cómo los ingenieros civiles incaicos usaron y manejaron el abastecimiento de agua para un sitio que sirvió como residencia de la nobleza inca y donde todo estuvo debidamente balanceado.

Metodología, Investigación cualitativa histórica y exploratoria, con mediciones efectuadas en el lugar de la investigación.

Resultados. Lo que encontraron los autores fue que los ingenieros incas tenían un amplio conocimiento acerca del manejo y uso benéfico de la tierra y el agua, para el desarrollo de la comunidad. Según los autores, los constructores de Tipón efectuaron mediciones topográficas, desbrozamientos, mediciones estructurales, mapeo de tres canales y analizaron la forma cómo se irrigaron las terrazas centrales empleando las técnicas de ingeniería que podrían emplearse actualmente.



Conclusión, El texto describe las características del sistema de riego de Tipón tales como su emplazamiento, distribución, sus principales obras de infraestructura y la restauración de que fue objeto por parte del INC y termina promocionando un recorrido integral por el complejo arqueológico de Tipón.

La Recuperación de Tecnologías Indígenas, Arqueología y desarrollo en los Andes

Alexander Herrera Wassilowsky (Herrera, 2011)

Objetivo. Aclarar los principales conceptos en torno al desarrollo, desde una perspectiva histórica de largo alcance, para indagar sobre la contribución de las ciencias sociales a los procesos de transformación social tanto para comprenderlos como para incidir sobre ellos

Metodología. Valoración de las tecnologías de los Andes centrales, entendiéndolas como la suma de medios técnicos desplegados por un sistema cultural para capturar la energía de su entorno. El estudio de las tecnologías tradicionales se plantea como un aporte en la construcción de estrategias de desarrollo basadas en la valoración del legado histórico propio. La base de este trabajo es el estudio de las tecnologías indígenas en los campos de la agricultura, el pastoreo, la arquitectura y la silvicultura en ocho regiones andinas ubicadas en el Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina.

Resultados. Las tecnologías andinas, dice Herrera Wassilowsky, son eficientes, sustentables y dignas de recuperación. También precisa que revalorar los logros del pasado no es lo mismo que hacerlos exóticos y transformarlos en una mercancía para venderlos al mejor postor. Señala



los limitados intentos de recuperar la tecnología ancestral y, aunque reconoce que ésta ya se ha iniciado, considera que es necesario abordar el estudio crítico para mostrar la diversidad de las formas sustentables en que se aprovecharon el agua y el suelo en el pasado.

El estudio de las tecnologías tradicionales, señala el autor, debe considerarse como un aporte en la construcción de estrategias de *desarrollo* basadas en la valoración del legado histórico propio. *Latinoamérica es pobre*, dice Herrera Wassilowsky, *porque ha desaprovechado las ventajas tecnológicas existentes, haciendo esfuerzos desmesurados por importar tecnologías foráneas antes que construir sobre las bases propias.*

Conclusión. Se presentan y discuten las tecnologías agrícolas pastoriles y agroforestales del pasado en las áreas focales de estudio en Argentina, Bolivia, Ecuador y Perú. En cada caso se parte de su estudio arqueológico y se mencionan y discuten los esfuerzos desplegados para su recuperación.

Water, Ritual and Power in the Inca Empire

Tamara L. Bray (Bray, 2013)

Objetivo. El propósito es comprender cómo el manejo del agua participó en el proceso de desarrollo del imperio y como su uso y significado, pueden haber evolucionado a través del tiempo.

Metodología. El artículo examina la manera en que, mediante el manejo del agua, fueron construidas relaciones específicas de poder e identidad incas. Ofrece un análisis comparativo de los elementos relacionados al



agua en diferentes sectores del imperio, representando distintos momentos de su desarrollo histórico.

Resultados. Bray señala que existen evidencias arqueológicas, etnohistóricas y etnográficas que indican que el agua fue un símbolo clave del pensamiento andino. Durante la era precolombina tardía, dice la autora, la atención prestada a los elementos hidráulicos por los incas, acentúa una preocupación clara respecto al control sobre el agua y su movimiento.

Conclusión. La evidencia arquitectónica de los lugares incluidos en el estudio, sugiere que el ejercicio visible de control sobre el movimiento y flujo del agua, pudo haber sido más crítico para el establecimiento de la hegemonía incaica que para su continuación.

Organización hidráulica y poder en el Cuzco de los Incas

Jeanette E. Sherbondy (Sherbondy, 1987)

Objetivo. Describir la organización administrativa territorial y del trabajo de los sistemas de riego inca en forma de ceques, una estructura geográfica radial de los canales de regadío

Metodología. Artículo basado en un trabajo de campo y en investigaciones etnohistóricas realizadas en las ciudades de Cusco y Lima entre 1975 y 1977.

Resultados. El artículo destaca que el agua de riego era esencial para la vida económica de los incas. Permitía el cultivo intensivo del maíz (el cultivo más importante para la economía y el culto estatal) y de los pastos para los grandes rebaños de llamas y alpacas cerca del Cusco. Además,



el regadío es la clave para comprender la organización social y política del Cusco. Su división administrativa estaba relacionada directamente con la geografía del riego, es decir con los canales de regadío que constituían los linderos de las tierras de cultivo asignadas a la panacas cusqueñas. Se trataba de canales construidos artificialmente en forma radial, siguiendo un alineamiento denominado Ceque en quechua, que dividían el territorio como si se tratara de sectores de un círculo, cuyo centro o “chaupi”, era la ciudad sagrada del Cusco. Del Cusco salían 41 Ceques y se ubicaron lugares sagrados o huacas sobre ellos. De esta manera, el sistema de ceques resulta ser un mapa de la distribución de los derechos de las panacas a las acequias y tierras. Algunas irregularidades en las líneas, corresponden a las exigencias topográficas del regadío.

Conclusión. En Cusco, el estado integró numerosos distritos de canales para la irrigación dentro de las unidades administrativas designadas a los grupos corporativos que correspondían a las panacas y los ayllus. Los canales de riego estaban construidos en forma de círculos concéntricos unidos por alineamientos radiales denominados ceques. El centro o “Chaupi” era la ciudad sagrada del Cusco.

Manejo del recurso hídrico en culturas precolombinas

Betty Freire D y Jaime Diaz O (Freire & Díaz, 2011)

Objetivo. Identificar las diversas tecnologías desarrolladas por las poblaciones americanas, resaltando las diferentes formas de captación de agua utilizadas para fines de irrigación, aprovechamiento de agua potable, navegación y protección contra las inclemencias de la naturaleza.



Metodología. Investigación bibliográfica. Los autores son investigadores de la Universidad del Valle, de Cali, Colombia.

Resultados Según el artículo, la utilización del agua por las culturas precolombinas incrementó el desarrollo de esas sociedades de agricultores que aprovecharon las ventajas naturales de su entorno para desarrollar tecnologías hidráulicas; hecho que es evidente sobre todo en las culturas azteca e inca, que generaron desarrollos tecnológicos que incrementaron la producción agrícola, haciendo posible alimentar a poblaciones numerosas. Destacan sus construcciones hidráulicas caracterizadas por el buen manejo del agua. Sus tecnologías, dicen los autores, desarrollaron innovaciones que intentaban disminuir la erosión, aminorar las inundaciones y retener la humedad, permitiendo captaciones, traslados y almacenamientos.

Conclusión. El rescate de la tradición cultural precolombina sobre el manejo de los sistemas hídricos, puede ser aprovechada por la generación actual, con el fin de utilizar adecuadamente el recurso hídrico.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La Ingeniería Civil de los Incas y la Ingeniería del Presente

Leonardo Alcayhuamán Accostupa (Alcayhuamán, 2012)

Objetivo. Hacer un recuento histórico de las obras de ingeniería en el mundo antiguo, destacando las obras ejecutadas en América por parte de nuestros antepasados incas, especialmente, las referidas a la ingeniería hidráulica, de caminos y de edificaciones.



Metodología. Investigación bibliográfica con visitas de campo para contrastar la información bibliográfica.

Resultados. Entre las obras de ingeniería hidráulica evaluadas, destaca, como la más relevante, la construcción de canales en Tipón, “obra maestra de la ingeniería hidráulica”, reconocida por el Congreso Panamericano de Ingenieros de Atlanta 2006, como un monumento histórico internacional de la ingeniería hidráulica. Destaca, además del alto nivel de construcción de las estructuras hidráulicas, el hecho de que los muros de contención de las terrazas pudieran almacenar energía solar durante el día, para irradiarla en forma de calor en las frías noches de la sierra para mitigar el efecto de las heladas. El autor destaca también las características del flujo de agua en los canales y las formas de disipación de la energía empleadas para evitar sus efectos adversos, así como el control adecuado del flujo para evitar la sedimentación, la cual se produce cuando las velocidades en los canales, son muy bajas. En cuanto a las obras viales, destaca la construcción del Ccapac Ñan, la red vial que unificó todo el Tahuantinsuyo y las obras de arte ejecutadas, como el puente colgante “Queshuachaca” de 45 m de largo, tendido sobre el caudaloso río Apurímac, puente construido a base de ichu (paja de las alturas) que hasta la fecha sirve a las comunidades usuarias, quienes lo renuevan cada tres años.

Conclusión. El autor concluye, destacando las herramientas de la tecnología moderna y su aplicación a las obras civiles, y expresando su admiración a las portentosas obras de la ingeniería inca.



Los orígenes de la civilización en el Perú

Luis Guillermo Lumbreras Salcedo (Lumbreras Salcedo, 2015)

Objetivo. El propósito de la publicación, dice el autor, es rescatar el conocimiento y pensamiento de las civilizaciones anteriores para, luego de un escrutinio minucioso, formular las bases y el cimiento, de una sociedad actual superior. Saber que hacían, como pensaban y descifrando su legado, podemos fundamentar las bases de una sociedad mejor.

Metodología. El método empleado por Lumbreras, es la investigación cualitativa histórica.

Resultados. El aporte del maestro Lumbreras, dice Ruiz Caro, al presentar el libro, es construir la interpretación de la civilización en el Perú desde la relación del hombre con su complejo y difícil territorio, poniendo como la pieza clave del proceso el “talento del antiguo peruano”, que pudo convertir en rico y productivo un territorio agreste, accidentado y mal irrigado. De este modo se pudo construir un estado de bienestar de dimensión subcontinental en medio de cordilleras y desiertos, con los limitados medios de la época y colocando la majestuosa red de caminos y la sabiduría del ensamble social y tecnológico como bases de ese exitoso proyecto político.

Conclusión. La obra concluye revisando la caída del imperio del Tawantinsuyu y señalando que la llegada de los españoles en 1532 no fue una sorpresa total. La sorpresa mayor fue el desencuentro entre formas tan disímiles de apreciar el mundo y las relaciones entre las gentes. Los españoles no entendieron nada de lo que ocurría en el



entorno andino; los andinos no entendían nada de lo que pretendían sus extraños visitantes. Ni las palabras ni las señas y mucho menos los valores.

La racionalidad en la cosmovisión andina

Juan José García Miranda Villena (García M, 2015)

Objetivo. El propósito de esta investigación es explicar la cosmovisión andina a partir de sus antecedentes, componentes y la propia perspectiva andina.

Metodología. Considera la construcción y uso de marcos teórico-metodológicos propios, para su comprensión. El enfoque empleado en esta investigación es cualitativo

Resultados. A partir de evidencias escritas y etnográficas, se explica el proceso de la sociedad andina y se busca la identificación y rescate de los elementos que sirvan para la reconstrucción del denominado autoproyecto andino de desarrollo que siempre existió y que es perdurable en el tiempo, manteniéndose latente en la memoria y práctica colectivas, como alternativa para el desarrollo económico y social de la población andina. El autor señala que el hecho de que coyunturalmente la propuesta andina se haga vigente, es una muestra de su potencialidad como alternativa para el desarrollo económico y social de la población andina, por lo que es imperioso redescubrirlo en toda su dimensión si se quiere reconstruir la sociedad de armonía y bienestar como la que existió entre los ñaupa runakuna (pobladores de la antigüedad).



Conclusión. La investigación concluye señalando que, en la cultura andina, se busca el logro de la armonía entre el hombre, la naturaleza, los otros hombres y la sociedad local con la sociedad mayor ejercitando la participación de sus habitantes.

Para leer la historia Inca

Catherine J. Julien (Julien, 2018)

Objetivo. El propósito del libro es mostrar acerca de las limitaciones que se presentan cuando se lee la historia inca, debido a que los hechos históricos no fueron registrados en forma escrita cuando sucedieron sino que fueron recogidos por los cronistas y registrados según su propio entendimiento, de manera que muchos de los sucesos se presentan de manera distinta cuando no contradictoria. La razón para que esto suceda, dice la autora, es porque escribir es una actividad interesada. El producto nunca es neutral y puede contener una gran variedad de mensajes. Mi objetivo, dice, es identificar las fuentes incas (auténticas) que transmiten una memoria del pasado.

Metodología. Emplea el método comparativo de los hechos históricos considerando las narrativas históricas que se basaron en fuentes incas con la información genealógica transmitida en éstas y otras narrativas.

Resultados. Analiza lo escrito por el cronista Sarmiento de Gamboa acerca de la emergencia de los incas y la influencia del estatus asociado a la palabra Cápac (de Manco Cápac y los descendientes de su linaje). Explora acerca de la transformación del Cusco durante el mandato de Pachacutec de acuerdo con lo relatado por los cronistas Betanzos y Sarmiento de Gamboa y evalúa lo que los incas no dicen acerca de su



historia temprana. Trata de los mitos del origen (el de los hermanos Ayar y el de la creación de todo por Viracocha en Tiahuanaco) y de las inconsistencias de su narración.

Conclusión. Aunque en términos convencionales, la historia es la creación de un proceso formal de registro de los acontecimientos del pasado, los incas desarrollaron sus propias formas de registrar y transmitir representaciones de su pasado, formas que respondieron a una conciencia histórica nativa, de manera que, según la autora, ¡existe una historia inca!

Los Incas: economía, sociedad y estado en la era del Tahuantinsuyo

Waldemar Espinoza Soriano (Espinoza, 2011)

Objetivo. Conocimiento de la civilización andina durante el Horizonte Inca que se extendió aproximadamente por 95 años, desde 1498 hasta 1533. Este periodo corresponde a la formación, desarrollo y destrucción del Estado imperial del Tahuantinsuyo

Metodología. Investigación cualitativa histórica. El autor dice que las fuentes ascienden a centenares, precisando que hasta hace 25 años, únicamente se manejaban las crónicas pero que ahora se dispone de informaciones, memoriales, cartas; a los que habría que agregar los aportes de la arqueología, la lingüística y la etnología que, por su parte, también disponen de abundante información.

Resultados. El Estado Inca representa el último eslabón de un proceso económico, social y político cuyo origen data de aproximadamente unos 16,000 años antes de Cristo o tal vez más. A pesar de que el incanato



encierra un período de vida de apenas 95 años (de 1438 a 1533), en él se sintetizan milenios de experiencia creadora y tenaz a nivel científico, tecnológico y artístico. Gracias al conocimiento heredado por los Incas, poco o nada hubo por descubrir o por inventar en su período de existencia; los quipus o los andenes, por ejemplo, fueron creados por pueblos mucho más antiguos de manera que, históricamente hablando, la época Inca, aparece como una etapa de postración o adormecimiento desde la caída de los Estados Huari y Puquina (Tiahuanaco). La investigación busca la caracterización de la economía y la sociedad andina del Horizonte Inca, poniendo interés, más que en los objetos que producían, en cómo era la producción, que instrumentos emplearon en la producción y para quien producía el poblador andino, es decir, en poder de que grupos permanecían los medios de producción. Lo que se advierte es que en los estados de tipo imperial como el Inca o los de sus predecesores, existía un control total por parte de una aristocracia guerrera, de las actividades económica, social y política, para lo cual fue necesario crear un gigantesco aparato burocrático de corte clasista, militarista, teocrático, despótico y centralista.

Conclusión. La publicación de Espinoza Soriano constituye un compendio histórico bien elaborado de la cultura Inca, que la considera desde su ubicación espacial, sus gobernantes, la vida cotidiana de sus pobladores, la estructura de propiedad y posesión de la tierra, la organización de su fuerza de trabajo, su tecnología y artes, su estructura social, su sistema administrativo, sus tradiciones, religión y la naturaleza del Estado Inca.



Arquitectura y construcción incas en Ollantaytambo

Jean-Pierre Protzen (Protzen, 2005)

Objetivo. La publicación es una investigación sobre el complejo arqueológico de Ollantaytambo, con el propósito de analizar su trazado y la relación entre sus diversos elementos y la topografía del lugar; analizar las técnicas constructivas usadas por los incas, desde la extracción de la materia prima hasta los acabados y presentar una aproximación a las secuencias seguidas en la construcción del complejo

Metodología. Análisis bibliográfico, evaluación técnico-arquitectónica del complejo y contrastaciones de campo.

Resultados. El autor considera que Ollantaytambo ofrece un panorama completo del programa de construcción incaico. Todos los elementos, dice, se encuentran representados allí: caminos y puentes, andenes y sistemas de riego, depósitos, baluartes, un asentamiento, estructuras religiosas y, quizá, palacios. Además, estos elementos parecen estar conectados uno al otro en un plano asombrosamente coherente por lo que, considera, que Ollantaytambo es el lugar ideal para el estudio de las prácticas de planificación y diseño de los incas

Conclusión. Las investigaciones del autor en Ollantaytambo, según él mismo señala, no han podido contestar ciertas preguntas con respecto a la historia constructiva del sitio, pero si dan información sobre las prácticas de planificación y los cánones arquitectónicos aplicados por los incas.

Una conclusión, de la mayor importancia para la presente investigación, es que los andenes elaborados fueron, ante todo, un tributo propio de las propiedades reales y no una política general con fines agrícolas del



Estado Inca aunque, señala específicamente, que se desconoce la pertenencia real de Tipón y Moray. Precisa que un elemento común a la mayoría de las propiedades reales, es la presencia de elaboradas obras hidráulicas tales como fuentes, cascadas y canales exquisitamente tallados en roca.

Finalmente, concluye que existe una increíble unidad formal en la arquitectura inca, pues muchos de sus elementos estuvieron ciertamente estandarizados, aunque los constructores supieron adaptarlos a las particularidades topográficas de cada terreno y no vacilaban en inventar y crear nuevos diseños específicos para cada caso en particular.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Tipón, interpretación filosófica del origen de la vida, los Inkas

José Manuel Villena Vargas (Villena, 2002)

Objetivo. Rescatar y revalorar la concepción filosófica inca y plantear un criterio de interpretación acerca del origen de la vida que, según el autor, se halla expresada en el sistema hidráulico del complejo arqueológico de Tipón.

Metodología. A partir de ilustraciones gráficas y fotográficas, explica lo que considera, es el mensaje filosófico de la cultura andina, mensaje expresado ideográficamente en las construcciones de Tipón, cuyo ideólogo, según el autor, no pudo ser otro que el gran Pachakuteq Inka Yupanqui.



Resultados. Según el autor, Tipón es el más completo y mayor sistema hidráulico arquitectónico conceptual hasta ahora conocido. Precisa, que sus estudios sobre el pensamiento filosófico en los Andes, le han permitido interpretar el mensaje de vida del agua. Considera que Tipón muestra la síntesis de la cultura andina acerca del origen de la vida, sus manifestaciones y la muerte, no como un final sino como el inicio de un renacimiento. La lluvia, dice, los relámpagos, rayos y truenos, mecieron la áurea cuna de los inkas en el regazo de la madre tierra –la Pacha Mama– “Entre montañas de blanca barba que se empinan por alcanzar el lázuli del cielo, donde el arco iris se disocia para iluminar el mundo de los hijos del sol y de la luna, cuya respuesta filosófica fue la vida en su mas alta concepción: Todo vibra y vive y, en ese todo, se debe coexistir en armonía, solidarizando y reciprocando en un compromiso perenne de los unos con los otros”.

Conclusión. Los incas antepusieron el respeto y el amor, en su comunión diaria, con la madre naturaleza. Cultivando plantas alimenticias en cada piso ecológico, saciaron el hambre de todo ser humano, logrando desarrollar una agricultura como en pocos pueblos de la tierra.

Proyecto de irrigación y rehabilitación Tipón

Sierra Palomino y Carazas Vargas (Sierra & Carazas, 1993)

Objetivo. Tesis profesional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Metodología. Se hizo un control planimétrico y altimétrico del canal inca, incluyendo un registro gráfico, una prospección arqueológica del suelo y



un análisis de las características de sección, longitud y de la velocidad del flujo en el canal

Resultados. Aunque la tesis profesional no está referida exclusivamente al sistema de riego inca, sino que es el proyecto de un sistema de riego adyacente, considera varios aspectos de importancia ingenieril del complejo arqueológico, tales como el descubrimiento (en ese momento) de un antiguo canal de drenaje, aspectos hidrológicos, climáticos y un capítulo completo destinado a la evaluación del canal inca que hace referencia a la tecnología hidráulica, a las técnicas de riego, al sistema de andenerías y la razón de su construcción. Hacen un breve análisis del comportamiento hidráulico de las curvas verticales cóncavas y convexas definidas en el trazo de las rápidas o canales de fuerte pendiente.

Conclusión. En lo referente al sistema de riego de Tipón, los autores formulan algunas hipótesis acerca de su planteamiento hidráulico y la operación del sistema, siendo la más destacada, la hipótesis referida a las curvas verticales del canal, según la cual, el radio de curvatura de éstas, obedecería a un diseño geométrico calculado previamente.

Teoría del desarrollo incásico: Interpretación esclavista-patriarcal de su proceso histórico-natural

Carlos Nuñez Anavitarte (Nuñez Anavitarte, 1954)

Objetivo. Plantear una teoría sobre el proceso histórico-natural o la formación económico-social del Imperio de los Incas. El autor precisa la necesidad de convenir en que “los principios no son ya el principio de la investigación, sino sus resultados finales, no se aplican a la naturaleza y



a la historia humana, sino que se abstraen de ella". Su planteamiento se basa en la ciencia económica, que es la disciplina que explica las leyes que rigen la producción y el intercambio; advirtiendo, que su planteamiento no es cosa acabada, sino que, en tanto se trata de una obra humana, es un trabajo perfectible.

Metodología. El autor inicia planteando un debate en torno al problema histórico incásico en lo que respecta a los movimientos ideológicos vinculados al problema de la organización económico social de los incas, refiriéndose, concretamente, a tres: el indigenismo, el economicismo y el subjetivismo histórico, para luego hacer una revisión crítica de la teoría del desarrollo incásico analizando dos tendencias: la de Mariátegui y la de Miroshevsky y las expresiones críticas de varios autores, tales como Engels, Marx, Baudín, Basadre, Valcárcel y otros; para, finalmente, formular y fundamentar su propuesta sobre el esclavismo patriarcal del incario.

Resultados. Con criterios absolutamente claros, basados en el desarrollo económico de la sociedad humana, siguiendo el planteamiento marxista, fundamenta su teoría del esclavismo patriarcal del incario, abordando aspectos como el problema de la disolución del comunismo primitivo, comparando las características económico-sociales del esclavismo patriarcal y del esclavismo clásico, revisando la estructura económica de la sociedad inca, su modo de producción (las fuerzas productivas y las relaciones de producción en la sociedad incásica), el proceso de la producción y reproducción social inca, el sobretrabajo como renta del suelo, la propiedad territorial y las leyes del desarrollo incásico.



Conclusión. La propiedad estatal de la tierra implica un sistema de explotación para la consecución del sobretrabajo. Los campesinos, productores directos, que creaban toda la riqueza social, no eran dueños de la tierra ni de otros medios de producción, que pertenecían a la clase dominante, la de los orejones, que los empleaban como medios de explotación; en consecuencia la sociedad inca pertenece a un tipo de sociedad esclavista (esclavismo patriarcal), basado en la producción de valores de uso.

La cosmovisión dual de los Inkas

Aurelio Carmona Cruz (Carmona, 2013)

Objetivo. El objetivo fundamental de esta investigación es hacer conocer el pensamiento andino, a fin de ayudar a comprender el significado ideológico de la arquitectura inka, combinando conocimientos de arqueología, técnicas de etnohistoria y brindando información del folklore de nuestro mundo andino.

Metodología. Se emplea la investigación histórica como metodología, basándose en informaciones obtenidas de las crónicas, con una interpretación estructuralista para entender el modelo de la organización social andina. El estructuralismo andino, explica que la sociedad fue organizada bajo el pensamiento de una dualidad opuesta y complementaria.

Resultados. La investigación se presenta en seis capítulos: El pensamiento religioso de los inkas, que trata de la concepción inka del universo (concepción dual). Usno, sukankas y calendario solar Inka, la



forma en que los inkas medían el tiempo y los medios que empleaban para hacerlo. Dualidad y complementariedad, que señala que la cosmovisión dual expresa una bipolaridad opuesta pero necesariamente complementaria. Los ocho periodos del calendario inka, plantea que el año se dividía en ocho períodos (equivalentes a los meses), de 45 días cada uno. Nak'aq en la mitología de Maras, la creencia mítica del degollador phistaco en Maras y Medicina Tradicional, conocimientos mágico religiosos y algunas prácticas curativas.

Conclusión. Aunque los conocimientos difundidos por el autor acerca de la cultura Inka son importantes, para la presente investigación sólo son de utilidad práctica los referentes al pensamiento religioso de los Inkas y los conceptos de dualidad y complementariedad.

2.2. BASES TEÓRICAS

Ingeniería del Riego, Utilización Racional del Agua

Guillermo Castañón (Castañón, 2000)

El agua es imprescindible para la vida, empieza señalando el autor, para luego hacer una referencia histórica de los sistemas de riego que se desarrollaron en diferentes civilizaciones del mundo y precisar luego, las perspectivas del futuro. La gestión del agua, desde el punto de vista del autor, es uno de los aspectos más importantes de su libro.

Con el fin de resolver el problema de la escasez del agua, el autor plantea la necesidad de un “Enfoque Nuevo” que debe incluir la correcta obtención, conservación y utilización del agua, con cuyo propósito será necesario hacer tres



cosas: Una concienciación general del problema, un conocimiento exacto de las disponibilidades y necesidades del agua y una “Gestión Eficaz” de las disponibilidades, de manera que se pueda rentabilizar al máximo los recursos hídricos existentes, utilizando en cada caso, únicamente el agua realmente necesaria. Con este propósito, considera que la investigación es primordial.

El libro es un tratado breve pero completo de la ingeniería del riego moderna. Desarrolla en capítulos independientes las relaciones agua-suelo-planta, las necesidades hídricas de los cultivos, el diseño del riego, los sistemas de riego por gravedad, por aspersión y el riego localizado, completando el contenido: la automatización del riego, el control del riego, riego en invernaderos y la fertirrigación.

Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas

Walter Olarte Hurtado (Olarte Hurtado, 2002)

Se trata de un manual elaborado como una iniciativa del Proyecto Manejo Sostenible de Suelos y Agua en Laderas (MASAL) con el objeto de promover la generación y difusión de conceptos instrumentos y herramientas que contribuyan a mejorar las capacidades técnicas y humanas de profesionales y promotores rurales que tienen que ver con el desarrollo rural.

El autor pretende que su publicación no se sujete al “afán metista” de instituciones que únicamente priorizan la ejecución de la infraestructura física dejando de lado aspectos como el fortalecimiento organizacional, el mantenimiento de las obras, el riego parcelario, el desarrollo agrícola, los planes de manejo con criterio conservacionista, etc. Con estos criterios, el manual considera los siguientes aspectos: Conceptos básicos del riego, cálculos de la



ETP, la ETR y el requerimiento del riego, criterios para decidir sobre la implementación de un sistema de riego por aspersión, diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión, la uniformidad del riego en sistemas por aspersión, el impacto ambiental ocasionado por los sistemas de riego por aspersión, evaluación económica y financiera, gestión de los sistemas de riego en laderas, monitoreo y evaluación de los planes y proyectos de gestión y producción de sistemas de riego y concluye con recomendaciones para supervisores y constructores de obra.

Manual de Riego por Gravedad

Walter Olarte Hurtado (Olarte, 1987)

Se trata de una publicación efectuada por la Comisión de Coordinación de Tecnología Andina (CCTA), una Organización auspiciada por dos entidades alemanas, GATE y GTZ. El manual fue producto de un conjunto de exposiciones y prácticas de campo organizadas en 1985 por la CCTA en el Valle del Colca - Arequipa.

El manual tiene el siguiente contenido: Como calcular la necesidad de agua por los cultivos, cómo interpretar los resultados de los análisis de aguas con fines de riego, calcular la cantidad de agua por aplicarse al suelo en cada riego, planificar el calendario de riegos, determinar las dimensiones y formas que deben tener los canales de conducción para llevar agua a los cultivos, efectuar el trazo de los canales de riego en forma rápida, diseñar y construir las cámaras de repartición de agua, como diseñar el riego por surcos, medir el agua en los canales de riego y, finalmente, como evaluar las pérdidas de agua de los canales en servicio, formas de control.



Siendo un manual, es un libro práctico en el que de manera ilustrativa, por medio de ejemplos numéricos, se explican todos los aspectos que allí son tratados y cuya síntesis se ha descrito líneas arriba. Aunque está referido a las obras de infraestructura de riego de la ingeniería moderna, existen aspectos que podrían ilustrar cómo fue posible construir las obras ancestrales dejadas por nuestros antepasados.

Diseño Hidráulico

Sviatoslav Krochin (Krochin, 2010)

El texto tiene por objeto presentar de manera sistemática y ordenada los criterios y principios en los que se basa el diseño actual de obras hidráulicas. Asimismo, presenta de manera compendiada, los artículos publicados por el autor en distintas revistas de la especialidad, principalmente en la revista "Riego", del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos del Ecuador y de los empleados en un curso de diseño hidráulico para post-graduados, dictado por el autor en la Universidad Central del Ecuador.

Destacan, dentro del contenido, temas como los Principios de la utilización de los recursos hidráulicos, generalidades sobre ríos, obras de captación, obras de conducción, túneles, rápidas, obras para riego y otras obras de aplicación hidráulica.



Diseño de Estructuras Hidráulicas

Cayo Ramos Taype (Ramos, 2014)

De acuerdo a lo señalado por el autor, este libro ha sido preparado para la formación de Ingenieros Agrícolas de la Universidad Nacional Agraria y contiene una amplia y exhaustiva recopilación, revisión y ejemplos de diseño de estructuras hidráulicas tales como bocatomas, acueductos, sifones, alcantarillas, rápidas, caídas y desarenadores. De manera que se trata de un libro técnico que orientará nuestra investigación en cuanto al diseño (o su comprobación) de las obras hidráulicas del sistema de riego estudiado.

Principios de Economía

N. Gregory Mankiw (Mankiw, 2017)

La economía es un estudio de la humanidad en los negocios ordinarios de la vida, dice el autor citando a Alfred Marshall, reconocido economista del siglo XIX. Es un libro voluminoso en el que se pueden encontrar prácticamente todos los conceptos necesarios para cualquier estudio en el que intervengan conceptos económicos. Así, los conceptos de eficiencia y escasez, empleados en la presente investigación, se encuentran claramente definidos por Mankiw. Otro aspecto de importancia para la investigación es lo que el autor señala como el 8vo Principio de la Economía: El nivel de vida de un país depende de su capacidad para producir bienes y servicios. A la pregunta ¿Cómo se explican las



diferencias entre los niveles de vida de los diferentes países y las diferentes épocas? Señala que la respuesta es sorprendentemente simple. Casi todas las variaciones de los niveles de vida pueden atribuirse a las diferencias existentes en los niveles de productividad de los países; esto es, la cantidad de bienes y servicios producidos por cada unidad de trabajo.

El libro tiene 36 capítulos ordenados en 12 partes y es un magnífico compendio del estudio de la economía de mercado.

Economía Prehispánica

Lumbreras, Kaulicke, Santillana y Espinoza (Lumbreras, Kaulicke, Santillana, & Espinoza, 2010)

Se trata de un compendio escrito por varios autores, publicado por el Banco Central de Reserva del Perú. El compendio considera los siguientes ítems y sus autores: Los orígenes de la sociedad andina, por Luis Guillermo Lumbreras; La economía en el periodo formativo, por Peter Kaulicke; Economía prehispánica en el área andina (periodo intermedio temprano, horizonte medio y período intermedio tardío), por Julián I. Santillana y, por último, Economía política y doméstica del Tahuantinsuyo, por Waldemar Espinoza Soriano.

Cada uno de los temas tratados expresa de manera clara su contenido.



Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas

Vásquez, Mejía, Faustino, Terán, Vásquez, Diaz, Vásquez, Castro, Tapia y Alcántara (Vásquez et al., 2016)

Se trata de una publicación hecha por profesores de la Universidad Nacional Agraria de la Molina - Lima. Contiene amplia información acerca de la definición, características, manejo y gestión de las cuencas hidrográficas.

En la investigación servirá para orientar acerca de estos conceptos en el sistema de riego Inka de Tipón, toda vez que cualquier alteración de un ecosistema afecta a toda la cuenca, salvo que se adopten algunas medidas de mitigación del impacto, lo cual disminuirá sus efectos, tal como se vislumbra, sucedió en Tipón.

Matemáticas Avanzadas para Ingeniería

Denis G. Zill y Warren S. Wright (Zill & Wright, 2012)

La investigación plantea la necesidad de verificar fenómenos físicos producidos principalmente en las obras de infraestructura del riego. Con este propósito, este libro constituirá una herramienta de importancia a la cual recurrir en caso de ser necesario plantear y resolver ecuaciones diferenciales o se requiera el auxilio matemático.

El libro se divide en cinco partes: Ecuaciones diferenciales ordinarias, Matrices (álgebra lineal), sistemas de ecuaciones diferenciales y, finalmente, el análisis complejo.



Introducción al Análisis de Errores, El estudio de las incertidumbres en las mediciones físicas

Jhon R. Taylor (Taylor, 2014)

Para la determinación de los errores en las mediciones físicas o en las mediciones experimentales, este libro constituye una herramienta imprescindible. Trata de lo siguiente: Descripción preliminar del análisis de errores, cómo expresar y utilizar las incertidumbres, propagación de incertidumbres, análisis estadístico de incertidumbres aleatorias, la distribución normal, exclusión de datos, medias ponderadas, ajuste mínimo cuadrático, covarianza y correlación, la distribución binomial, la distribución de Poisson, el test ji-cuadrado para una distribución.

Se trata de un libro clásico de la teoría de errores donde se plantean los conceptos fundamentales y el desarrollo ejemplificado de estos conceptos.

Mecánica de Fluidos

M. Potter, D. Wiggert y B. Ramadam (Potter, Wiggert, & Ramadan, 2015)

Para entender adecuadamente los fundamentos del flujo hidráulico que tiene lugar en los sistemas de captación, en los canales y todas las obras hidráulicas; es imprescindible conocer la mecánica del fluido.

En este libro se da a conocer los principios y aplicaciones de la mecánica de los fluidos y está compuesto de 14 capítulos siendo los principales los siguientes: Estática de los fluidos, introducción al movimiento de los fluidos, formas integrales de las leyes fundamentales, análisis dimensional y similitud, flujo en canales abiertos, mediciones en mecánica de fluidos, dinámica de fluidos computacional.



Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias

R. Walpole, R. Myers, S. Myers y K. Ye (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

Toda información registrada y procesada, requiere de la Estadística. En tal sentido el libro de Walpole, Myers y Myers, constituye una bibliografía básica para orientar y desarrollar el trabajo estadístico de la presente investigación más aún si se tiene en cuenta que presenta un amplio desarrollo de la teoría de probabilidades.

El libro, entre los mas importantes, desarrolla los siguientes temas: Introducción a la estadística y al análisis de datos, probabilidad, variables aleatorias y distribuciones de probabilidad, esperanza matemática, algunas distribuciones de probabilidad discreta, algunas distribuciones continuas de probabilidad, distribuciones de muestreo fundamentales y descripción de datos, problemas de estimación y pruebas de hipótesis de una y dos muestras, regresión lineal simple y correlación, regresión lineal múltiple y algunos modelos de regresión no lineal y concluye con los conceptos del análisis y diseño de experimentos, incluyendo la estadística no paramétrica y la estadística bayesiana.

La Racionalidad Andina

Peña, Depaz, Quesada, Mejía, Rivara, Mendizábal y Chávez (Peña et al., 2005)

La concepción del sistema de riego Inka de Tipón así como todas las obras ejecutadas por los Inkas a lo largo y ancho de su territorio, obedecen a criterios muy distintos de los actuales. Para entender esos criterios es necesario conocer o, al menos, aproximarse a la racionalidad andina.

Este texto constituye un compendio de varios autores, cada uno de los cuales aporta con un artículo muy bien fundamentado. Los temas tratados en el libro



son: Racionalidad occidental y racionalidad andina, por Antonio Peña Cabrera; Una aproximación a la cuestión de los horizontes de sentido en el mundo andino, por Zenón Depaz; Lenguaje y cognición en la cosmovisión andina, por Félix Quesada; La cosmovisión Andina y las categorías quechuas como fundamento para una filosofía peruana y de América andina, por Mario Mearía Luisa Rivara; La pasión Racionalista Andina, por Emilio Mendizábal y, finalmente, Aproximación Lingüística a la cosmovisión andina, por Amancio Chávez.

Filosofía Andina, estudio intercultural de la sabiduría autóctona andina

Josef Estermann (Estermann, 1998)

Para poder acercarnos al fenómeno y tema de la filosofía andina, dice el autor, es preciso romper con el eurocentrismo y occidentalismo implícitos en la misma definición y delimitación de lo que se considera 'pensamiento filosófico' y es que, como señala el propio Estermann, la cuestión de la 'filosofía andina', sobre todo en los medios académicos, es altamente controversial, por lo que "a pesar de las muchas dificultades que encontré a lo largo de mis reflexiones me parece de suma importancia rescatar el pensamiento del pueblo andino, como una auténtica filosofía" dice Estermann (Estermann, 1998).

El libro tiene el siguiente contenido: Cosmovisión, mito, pensamiento o filosofía; presupuestos hermenéuticos y metodológicos; racionalidad andina; racionalidad del todo: lógica andina; pachasofía: cosmología andina; runasofía: antropología andina; ruwanasofía: ética andina; apusofía: teología andina y, finalmente, filosofía andina, una interculturalidad difícil.



2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL MIXTA

Los niveles de eficiencia hídrica alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica, fueron superiores al 70% en promedio.

2.3.2. HIPÓTESIS CUANTITATIVAS

- a) La eficiencia hídrica de las captaciones en el sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó un nivel superior al 90% en promedio.
- b) La eficiencia hídrica de los canales de conducción del sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó niveles superiores al 75% en promedio
- c) La eficiencia hídrica de los canales de distribución en el sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó niveles superiores al 75% en promedio.

2.3.3. HIPÓTESIS CUALITATIVAS (HIPÓTESIS DE TRABAJO).

- a) El planeamiento tuvo una incidencia muy importante, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- b) La influencia de la oferta y la demanda del agua, fue relativa, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- c) El planteamiento hidráulico, afectó de manera decisiva en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
- d) Los costos y beneficios afectaron relativamente, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.



- e) El impacto ambiental no tuvo repercusiones significativas, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.

2.4. VARIABLES Y CATEGORÍAS DE ESTUDIO

2.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables identificadas en el presente estudio, son las siguientes:

VARIABLE INDEPENDIENTE (CUALITATIVA): Concepción del sistema de riego Inka de Tipón.

VARIABLE INDEPENDIENTE (CUANTITATIVA): Obras de infraestructura hidráulica en el sistema de riego Inka de Tipón

VARIABLE DEPENDIENTE: Eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.

2.4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La operacionalización de las variables, se muestra en el siguiente cuadro:



Tabla 1 VARIABLES Y CATEGORÍAS DE ESTUDIO

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente (Cualitativa)	Concepción del sistema de riego Inka de Tipón	Planeamiento del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo - Disponibilidad de suelos aptos para el cultivo - Relieve - Vulnerabilidad - Acceso - Disponibilidad de recursos - Beneficiarios - Vida útil del proyecto - Operación y mantenimiento del sistema
		Oferta y demanda hídricas	<ul style="list-style-type: none"> - Oferta hídrica - Demanda hídrica
		Planteamiento hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> - Cosmovisión andina - Planteamiento del sistema
		Costos y beneficios	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de producción. - Utilidad del sistema
		Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - El culto a la Pacha Mama - Evaluación ambiental
Variable Independiente (Cuantitativa)	Obras de infraestructura hidráulica en el sistema de riego Inka de Tipón	Sistema de captación	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación de las captaciones - Caudales disponibles - Tipo de las bocatomas - Geometría
		Sistema de conducción	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo - Geometría de los canales - Revestimiento - Obras de arte - Pérdidas en los canales
		Sistema de distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo - Geometría de los canales - Revestimiento - Pérdidas en los canales
Variable Dependiente	Eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón	Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de captación - Eficiencia de conducción y distribución - Eficiencia hídrica

2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

La concepción de un proyecto de riego

La concepción de un proyecto de riego se refiere al proceso de concebir el proyecto. Es la etapa inicial en la que se identifica la necesidad que se tiene de efectuar la obra o conjunto de obras que constituyen el proyecto, de manera que permita satisfacer adecuadamente las necesidades humanas. La concepción de un sistema de riego considera:



- El planeamiento o planeación del sistema de riego. En su libro *Ingeniería de los Recursos Hidráulicos*, Linsley y Franzini dicen que la planeación puede definirse como la consideración ordenada de un proyecto, desde la declaración original de objetivos, a través de la evaluación de alternativas hasta la decisión final de un curso de acción (Linsley & Franzini, 1975). La planeación incluye todo el trabajo asociado con el diseño de un proyecto, excepto el diseño detallado estructural de ingeniería.
- La oferta y demanda hídricas, se refiere a la disponibilidad del agua para el proyecto y las necesidades de agua requeridas para satisfacer este requerimiento.
- Planteamiento hidráulico, es la propuesta de cómo estarán distribuidas en el campo, las diferentes obras que conforman el sistema de riego. Se buscará la distribución mas óptima.
- Costos y beneficios. Son conceptos modernos de la Ingeniería Económica, Blank y Tarquin, definen *costo* como los gastos ocasionados por la construcción, operación y mantenimiento de un sistema, mientras que *beneficios* son las ventajas expresadas en términos monetarios (Blank & Tarquin, 2006).
- Impacto ambiental. Es la modificación significativa de la calidad ambiental por efecto de un fenómeno físico, un proyecto, programa o actividad económica, que generan efectos, positivos o negativos, que tienen repercusión sobre la salud humana, los recursos naturales, la biodiversidad, etc. (Collazos, 2015)



Las Obras de Infraestructura hidráulica

Se refiere a las diferentes obras o componentes de infraestructura de un sistema de riego, a través de las cuales circula el agua. Para una presentación mas ordenada, las obras hidráulicas se agrupan en sistemas, siendo estos:

- Sistema de captación, son las obras a través de las cuales se capta el agua de la fuente. Las obras de captación pueden ser superficiales, cuando la captación se efectúa a un nivel que queda por sobre la superficie de la tierra o profundas cuando la toma del agua se hace por medio de una estructura sumergida (debajo de la superficie libre del agua).
- Sistema de conducción, se refiere a los conductos a través de los cuales se transporta el agua desde la captación hasta un punto próximo a la parcela de riego. Pueden ser canales o, como en los proyectos modernos, tuberías. Se le conoce también como sistema de infraestructura mayor. Cuando el sistema está compuesto por canales, al canal principal también se le llama canal madre.

En el sistema de conducción se construyen diferentes obras adicionales tales como: aforadores o medidores del flujo, rápidas (tramos de fuerte pendiente), disipadores de energía (pozos en los que se produce un resalto hidráulico), pasarelas (pequeños puentes para el cruce de peatones), canoas (especie de puentes para el paso de alguna quebrada que cruza el canal), aliviaderos (estructuras diseñadas para evacuar aguas de exceso), bermas (camino peatonales al lado del canal, contruidos para hacer mantenimiento),



partidores o estructuras de partición (para dividir el flujo y conducirlo en direcciones diferentes), etc.

- Sistema de distribución, es el conjunto de canales o tuberías que se encargan de llevar el agua desde el sistema de conducción, próximo a la parcela, hasta la parcela misma de riego. También se le conoce como sistema de infraestructura menor.
- Sistema de drenaje, sistema compuesto generalmente por canales que sirven para capturar el agua excedente del riego y conducirla adecuadamente hasta un cauce natural.

Eficiencia hídrica

Según Mankiw (Mankiw, 2016), eficiencia es la propiedad de la sociedad de aprovechar al máximo sus escasos recursos. La eficiencia hídrica es la combinación de la eficiencia de captación, la eficiencia de conducción y la eficiencia de distribución.

La eficiencia de captación (E_{capt}) es la relación entre el caudal de agua realmente captado (Q_r) y el caudal de agua proyectado o previsto por captar (Q_{py}), en la fuente. Es decir:

$$E_{capt} = \frac{Q_r}{Q_{py}} \times 100$$

La eficiencia de conducción (E_{cond}), es la relación entre el caudal que llega al extremo final del canal de conducción (Q_{fc}) y el caudal que ingresa al inicio del canal de conducción (Q_{ic}), es decir:

$$E_{cond} = \frac{Q_{fc}}{Q_{ic}} \times 100$$



La eficiencia de distribución (E_{distr}) es la relación entre el caudal de entrega a la parcela ($Q_{entrega}$) y el caudal que sale del canal principal al inicio del sistema de distribución (Q_{inidis}). Es decir:

$$E_{distr} = \frac{Q_{entrega}}{Q_{inidis}} \times 100$$

La eficiencia hídrica (E_{Hidr}), está dada por el producto de las tres eficiencias anteriores. Así:

$$E_{Hidr} = E_{capt} \cdot E_{cond} \cdot E_{distr}$$



CAPÍTULO 3: MÉTODO

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque mixto de la investigación. Según Chen, citado por Hernández Sampieri et al (Hernández S, Fernández & Baptista, 2014) el enfoque mixto se define como la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio. El propósito de emplear un enfoque mixto, según los citados Hernández Sampieri et al, es agregar valor al estudio.

3.2. ALCANCE DEL ESTUDIO

Teniendo en cuenta que el enfoque de la presente investigación corresponde a un enfoque mixto de la investigación científica, no es posible establecer de manera rigurosa y única, los alcances de la investigación; sin embargo, teniendo en cuenta que en la parte cuantitativa, la estrategia del estudio depende del alcance que este tiene, precisamos que la presente investigación se enmarca dentro del alcance descriptivo transeccional porque describe fenómenos, situaciones y sucesos tal como se presentan en un momento determinado, para su evaluación y análisis. En cuanto a la parte cualitativa, Hernández Sampieri et al, precisan que el alcance de los estudios cualitativos consiste, principalmente, en comprender los fenómenos estudiados, es decir, que el propósito no está en medir las variables del fenómeno, sino en entenderlo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).



3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información deseada que permita responder al planteamiento del problema. Cada estudio mixto, dicen Hernández Sampiere et al, implica un trabajo único y un diseño propio, aunque precisan que, pese a ello, se han identificado modelos generales de diseños que combinan los métodos cuantitativo y cualitativo. Concluyen estos autores, afirmando que el investigador elige un diseño mixto general y luego desarrolla un diseño específico para su estudio. Para desarrollar una investigación de enfoque mixto, Hernández Sampieri et al, sugieren que el investigador responda las siguientes cuatro preguntas: ¿Qué enfoque tendrá la prioridad?, ¿Qué secuencia se elegirá? ¿cuál es el propósito central de la integración de los datos cuantitativos y cualitativos al plantear el problema? ¿en qué etapas del proceso de investigación se integrarán los enfoques? En la presente investigación, el enfoque cualitativo será preponderante, los componentes se ejecutarán de manera concurrente o simultánea, el propósito esencial de la integración de los datos es cualificar los datos cuantitativos y, finalmente, se plantea que la integración de los enfoques se llevará a efecto durante el proceso en todas las etapas que fuera necesario.

En este contexto, el diseño seleccionado para el presente trabajo fue el de triangulación concurrente (Ditriac) que busca corroborar resultados efectuando una evaluación cruzada entre datos cuantitativos y cualitativos. Los diseños no se presentan de manera única ni excluyente, no hay diseños puros; así, el diseño propuesto se complementa



adecuadamente con el diseño transformativo concurrente (Distrac) porque la recolección y el análisis de los datos, son guiados por la teoría, visión, ideología y perspectiva que, en nuestro caso, lo constituye la cosmovisión andina.

3.4. POBLACIÓN Y ESCENARIOS DE ESTUDIO

Teniendo en cuenta que la presente investigación es predominantemente cualitativa y siempre de acuerdo con Hernández Sampieri et al, el instrumento de recolección de datos es “el propio investigador”, de manera que es él quien define la población y el escenario de estudio. Para la presente investigación, se ha definido como unidad de estudio el Parque Arqueológico de Tipón, el cual comprende todo el complejo del sistema de riego Inka de Tipón en su integridad.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Definida la unidad de estudio, siguiendo con las recomendaciones de Hernández Sampieri et al, el primer paso será efectuar una visita exploratoria o estudio de reconocimiento para definir los lugares específicos o estructuras a ser analizadas y evaluadas. Esta labor no es necesariamente secuencial sino que puede ser recursiva. Se procede luego con la observación para detectar los fenómenos de interés, registrar la información y los datos correspondientes, para proceder, primero a reflexionar sobre la información disponible y luego a analizarla y evaluarla convenientemente.

La información a ser recabada en la unidad de estudio corresponde a la observación y registro de las características de construcción y



funcionamiento de las estructuras hidráulicas del sistema de riego de Tipón y a las condiciones en que fueron ejecutadas estas obras, con este propósito se emplearán instrumentos de medición de uso común tales como wincha, cronómetro, flotadores, cámaras de registro fotográfico, etc. Otra fuente de primera importancia es la compilación bibliográfica y documental que permitirá conocer, reconocer, inferir y, en su caso, contrastar los datos obtenidos, tanto en la unidad de investigación cuanto en los documentos y publicaciones existentes.

Los aspectos cuantitativos a ser evaluados tales como el impacto ambiental de la construcción del sistema de riego o la evaluación de la vulnerabilidad, serán efectuados por inspección directa en la unidad de estudio definida.

3.6. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

Tratándose de un estudio mixto con predominio del enfoque cualitativo, de acuerdo con lo precisado por Hernández Sampieri et al, sería más conveniente utilizar el término “rigor” en lugar de validez o confianza, término que es aplicable, dice este autor, tanto al proceso como al producto. El rigor exigido en la presente investigación, será expresado a través de los criterios de: consistencia lógica, fundamentación y aproximación. La consistencia lógica señala la “confiabilidad cualitativa”, la fundamentación representa la amplitud y solidez de las bases teóricas y filosóficas que proporciona el marco referencial del estudio y la aproximación, desde el punto de vista metodológico, expresa la contundencia con que se explicitan los juicios y la lógica del estudio.



A manera de ilustración acerca del rigor de la presente investigación, señalamos algunas de las fuentes documentales empleadas, las cuales provienen de estudios y artículos científicos sobre las construcciones efectuadas en las culturas precolombinas, sobre mediciones efectuadas en las estructuras hidráulicas de Tipón y sobre la concepción filosófica o cosmovisión andina. Sobre las construcciones, podemos citar a Jean Pierre Protzen, profesor emérito de la Universidad de California en Berkeley autor de: *“Arquitectura y construcciones incas en Ollantaytambo”* y de *“Las piedras de Tiahuanaco arquitectura y construcción de un centro megalítico andino”* (Protzen, 2005) y a Vincent R. Lee, miembro e investigador asociado del Institute of Andean Studies quien presentó un artículo científico denominado *“Design by numbers, architectural order among the incas”* ante la 36 reunión anual del Instituto de Estudios Andinos, en Berkeley, California, (Lee, 1996). En cuanto a mediciones efectuadas en Tipón, citaremos a Charles R. Ortloff, Investigador Asociado en Antropología para la Universidad de Chicago y director de CFD Consultants International and Research, autor del libro *“The Hydraulic State Science and Society in the Ancient World”* (Ortloff, The Hydraulic State science and Society in the Ancient World, 2021) y del artículo científico *“Tipón: Insight into Inka Hydraulic Engineering”*, publicado por <https://www.cambridge.org/core>, University of California, (Ortloff, Tipón: Perspectiva de la práctica de ingeniería hidráulica Inka, 2019). Otro investigador de Tipón que hizo mediciones directas en diferentes estructuras, es Kenneth R. Wright, autor de *“Tipón Obra maestra de la ingeniería hidráulica del imperio de los incas”* publicado originalmente en



inglés por la American Society of Civil Engineers, (Wright, Kenneth, 2008). En cuanto a la cosmovisión y los niveles de desarrollo económico y cultural de la cultura andina, podemos citar la publicación de Anne Marie Hocquenghem, denominada “*Hanan y Hurin*”, publicada en la revista Amerindia editada por la Asociación Etnolingüística Amerindia bajo la dirección científica del equipo de investigación asociado Nro 431 de la Universidad de París-Sorbonne (Hocquenghem, 1984). Sabine MacCormack, Ph.D. por la Universidad de Oxford (Inglaterra) y profesora de Historia y Estudios Clásicos en las Universidades de Texas (Austin), Stanford, Michigan y Notre Dame de los Estados Unidos, quien publicó “*Religión en los Andes*” (MacCormack, 2016); Josef Estermann, Director de la Casa Romero y profesor de la Universidad de Lucerna en Suiza, autor de “*Filosofía Andina, estudio intercultural de la sabiduría autóctona andina*” (Estermann, 2018); Viviana Moscovich, investigadora y Profesora Asociada de la Universidad de Jerusalén y del Instituto Sverdlin de historia y Cultura Latina de la Universidad de Tel Aviv, quien publicó “*El Khipu y la Yupana, administración y Contabilidad en el Imperio Inca*” (Moscovich, 2017); Catherine J. Julien, profesora Asociada en la cátedra de Historia de la Western Michigan University, autora del libro “*Para Leer la Historia Inca*” (Julien, 2018). También se recurrió a autores nacionales entre los que destacan: Carlos Nuñez Anavitarte, intelectual cusqueño, nominado como científico de primer orden de la Unión Soviética; Waldemar Espinoza Soriano, profesor de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Luis Guillermo Lumbreras, profesor de las universidades San Cristóbal de Huamanga y San Marcos de Lima; Virgilio Roel, profesor de



la Universidad de San Marcos y Franklin Pease García de la Pontificia Universidad Católica del Perú; entre otros.

3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS: TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos cuantitativos fueron evaluados de acuerdo con los criterios y conceptos de la ingeniería y economía modernas para luego contrastarlos con la ingeniería Inka. La ingeniería moderna plantea sus criterios desde la concepción del proyecto, el planeamiento de la infraestructura (que a su vez, considera las exigencias mínimas que se deben cumplir para llevar adelante un proyecto de riego), quienes serán los beneficiarios de la obra, las vulnerabilidades a las que estará expuesto el sistema, la vida útil del proyecto, su operación y mantenimiento. En cuanto a los requerimientos puramente técnicos, la ingeniería moderna evalúa la oferta y demanda hídricas, el planteamiento hidráulico (es decir las obras específicas que constituirán las características del sistema y su disposición en el terreno), los costos que demanda la obra y los beneficios que aportará su ejecución; así como el impacto que ocasionará la construcción de la obra en el medio ambiente. Resulta asombroso comprobar que todos o casi todos los conceptos de la ingeniería moderna fueron considerados por la ingeniería Inka, incluyendo los criterios de diseño hidráulico cuyo conocimiento en la actualidad, requiere de una formación profesional universitaria.

En cuanto a los criterios de la economía se refiere, la concepción andina es completamente distinta. Los Inkas no conocieron el dinero ni los



conceptos de rentabilidad, por lo que existen aspectos del sistema de riego de Tipón que no pueden ser completamente definidos en términos de la economía. Sobre el modo de producción del incanato, por ejemplo, los propios investigadores modernos de la economía, no se ponen de acuerdo en caracterizar de manera única y categórica cual fue el modo de producción del incanato; de manera que en este aspecto, en el presente trabajo se presentan los resultados con los criterios de la economía moderna, exclusivamente.



CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS

4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de la investigación fue el de identificar y determinar los niveles de eficiencia hídrica alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica, planteándose como hipótesis de trabajo que los niveles de eficiencia alcanzados en Tipón serían superiores al 70% en promedio. A pesar de las dificultades impuestas por la situación de emergencia sanitaria, haciendo uso de modelos teóricos y conceptuales, se estimó en 94.1% la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón. En el sistema de captación, teniendo en cuenta que el caudal disponible es superior al caudal requerido (es cinco veces mayor), se estimó en cien por ciento la eficiencia hídrica de este sistema, pues, teniendo un caudal superior al estrictamente necesario, siempre podría satisfacerse la demanda. Por su parte, habiéndose encontrado que las características hidráulicas de los canales principales y secundarios son las mismas, haciendo uso de modelos teóricos, se pudo estimar en 97.4% la eficiencia hídrica para ambos sistemas de canales. Así, en todos los casos, los índices de eficiencia encontrados fueron superiores a los límites planteados en las hipótesis cuantitativas formuladas.

En cuanto a las hipótesis cualitativas, en la presente investigación las hipótesis planteadas también fueron verificadas satisfactoriamente. Así, el planeamiento del sistema de riego Inka de Tipón, tuvo una incidencia considerable en su eficiencia, como puede apreciarse de la evaluación



hecha a su localización y las características de su emplazamiento que, al disponer de los recursos necesarios para el desarrollo de un proyecto de riego, se muestran adecuados para el desarrollo del sistema.

Otro aspecto referido al planeamiento del sistema de riego de Tipón, es la evaluación de su vulnerabilidad, que nos permitió identificar como peligrosos los deslizamientos que pueden presentarse en las temporadas de lluvias, en la zona de ladera por la que atraviesa el canal aductor. Estas amenazas, en caso de producirse, se presentarían en forma localizada y no alterarían los requerimientos del riego, o lo harían mínimamente, porque la demanda hídrica es atendida básicamente por la fuente de aguas subterráneas que se encuentra ubicada lejos de la zona de peligro. Del mismo modo, por la forma en que era administrado el Estado Inka, la disponibilidad de mano de obra para las labores de operación y mantenimiento del sistema, era permanente, favoreciéndose de esta manera la eficiencia del sistema de riego.

Respecto a la influencia de la oferta y demanda hídricas en la determinación de la eficiencia del sistema de riego de Tipón, éstas no se muestran significativas toda vez que la disponibilidad del agua es superior a la demanda más crítica que podría presentarse en los meses de mayo de cada año, en el orden de 2.7 lts/seg, siendo la oferta hídrica mucho mayor, del orden de los 15 lts/seg.

En cuanto al planteamiento hidráulico del sistema de riego de Tipón llevado a cabo durante su planeamiento, se observa que su incidencia fue determinante, toda vez que en esta etapa se plantean las características y ubicación de las diferentes estructuras hidráulicas. Al respecto, las investigaciones de Vincent R. Lee, sugieren categóricamente que el



planteamiento hidráulico debió ser hecho por medio de maquetas que, aunque no expresaban posiciones relativas de las estructuras (porque no conocían las relaciones de escala ni tenían una unidad de medida longitudinal estándar), sirvieron para plantear, en forma determinante, la concepción general del sistema y de las obras de infraestructura. Es evidente que el planteamiento, además de cumplir satisfactoriamente los requerimientos puramente técnicos del riego, también debieron satisfacer la necesidad de expresar la concepción dual de la cosmovisión inka.

No es posible definir los costos del sistema de riego Inka de Tipón en el sentido crematístico de la ingeniería económica moderna, aunque se pudo estimar que se emplearon, aproximadamente, unos 32,85 millones de horas-hombre de trabajo, en un tiempo de ejecución estimado en 20 años, para los trabajos de infraestructura del sistema de riego de Tipón.

En cuanto al impacto ambiental de la construcción del sistema de riego Inka de Tipón, éste fue evaluado con la técnica moderna denominada Matriz de Leopold. Considerando el impacto ocasionado en el aire, el agua, el suelo y el paisaje, se obtuvo un impacto ambiental ligeramente positivo, de manera que, por efecto de la construcción del sistema de riego, no se produjo un impacto significativo ni ocasionó mayor incidencia en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.



4.2. ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS

Los hallazgos del presente trabajo de investigación, podemos clasificarlos en dos grupos: los que corresponden a los conceptos de la cosmovisión andina y los que corresponden a la tecnología de la hidráulica Inka.

Para comprender de mejor manera la cosmovisión andina, es preciso conocer su concepción dual. De acuerdo con esta concepción, la organización y clasificación del mundo se basa en el reconocimiento de dos partes complementarias y opuestas: Hanan y Urin. Cada parte se subdivide a su vez en otras dos mitades Hanan y Urin. Esta concepción doblemente dualista genera una cuatripartición que se proyecta en la dimensión del espacio, el tiempo y la sociedad, pero además la cosmovisión andina tiene, simultáneamente, una concepción tripartita, concéntrica del mundo: lo externo, lo interior y la interface entre ambos (el chaupi), que hace que se generen 12 intervalos. Esta concepción del universo es representada geométricamente a través de la gran Chacana o cruz andina que tiene cuatro brazos conformados por tres peldaños cada uno.

Siguiendo a Estermann, identificamos tres características en la cosmovisión andina: Presencia simbólica, relacionalidad del todo y racionalidad no racionalista.

Por la presencia simbólica, la realidad no se presenta de una manera conceptual sino en forma simbólica. El conocimiento de la realidad se alcanza por medio de una inserción mítica y su representación litúrgica y ceremonial simbólica.



La relacionalidad del todo se refiere a que todo está relacionado entre si por medio de una red de nexos y vínculos que constituyen la fuerza vital (el arjé) de todo lo que existe. No existe nada sin esta condición trascendental, se manifiesta en todos los niveles y campos de la existencia, es la clave de toda interpretación del hombre andino.

Según la racionalidad no racionalista, el acercamiento a la realidad no sólo tiene lugar por medio de la visión, el acercamiento a la realidad tiene lugar también, a través de los sentidos no visuales como el tacto, el olfato y el oído. El hombre andino escucha a la tierra y siente la realidad en su corazón. Mas que conocer la realidad, el hombre andino, la siente.

La pregunta que surge entonces es ¿Qué relación o nexo existe entre la cosmovisión andina y el planteamiento y características del sistema de riego Inka de Tipón? Aunque se trata de una obra de infraestructura de riego, el sistema de Tipón es todo un mensaje de la cosmovisión andina, basta observar su planteamiento hidráulico o sus obras de infraestructura, para percibir en ellos la concepción dual de los Inkas: Se plantearon dos sistemas de captación, dos sistemas de canales principales, dos grupos de terrazas (iskay patapatakuna).

Pero si lo señalado anteriormente muestra, en general, la concepción dual andina, es la captación en la fuente de aguas subterráneas, la estructura que representa en forma magnífica y extraordinaria, combinando el ingenio de los constructores Inkas con una belleza estética sin par, la concepción íntegra de la cosmovisión andina. Es una obra tallada en piedra que se abre como las páginas de un libro escrito en un lenguaje universal, para mostrarle



al mundo, al universo entero quizá, su legado a la eternidad. En esta portentosa obra se puede apreciar el mensaje que se inicia en la fuente misma del manantial: la paqarina, el lugar del principio de la vida de los hombres y de todos los seres animados. La paqarina descarga sus aguas en un canal que representa el río de los orígenes o paqarina mayu, que luego se divide en dos canales, dando lugar a la conformación de un yanantin o pareja que, más adelante, vuelven a encontrarse para unirse en un punto de encuentro o tinkuy para inundar el depósito, la fuente de perpetuación de la vida, desde el cual surgen los cuatro canales que representan la cuatripartición de la cosmovisión andina, las dos parejas simétricas hanan y urin que representan el todo: la organización espacial, temporal y social del mundo andino y porqué no, del universo entero. Su perfecto equilibrio expresa la voluntad del allin causay, es decir, el propósito superior del buen vivir de la sociedad inka. Los cuatro canales, juntan sus aguas en un gran depósito rectangular: la vida en sociedad, la interacción e interrelación entre todos, el principio de relacionalidad de la lógica andina, el arjé de su concepción y desde el cual, de manera inevitable e ineludible, todo confluirá hacia una salida única que conduce a otra gran poza, la fosa común a la que se llegará inexorablemente y que nos muestra el desenlace final de la existencia.

En cuanto a la tecnología hidráulica, señalaremos los hallazgos correspondientes a las estructuras hidráulicas. Así, en la captación de las aguas subterráneas, de acuerdo a las investigaciones hechas por Wright, existen ocho conductos subterráneos instalados en diferentes direcciones con la finalidad de concentrar las aguas subterráneas en el punto de



captación (Wright, Kenneth, 2008). En la ingeniería moderna, en los ojos de manantes, se emplea un criterio semejante para concentrar las aguas subterráneas, haciendo uso de tuberías cribadas, pero no existe en la actualidad material capaz de soportar el paso de los siglos, que pueda trabajar con la eficiencia del sistema inka. En la estructura de captación de las aguas subterráneas, los ingenieros inkas demostraron también, que conocieron de manera práctica los regímenes del flujo en canales abiertos. La ingeniería moderna ha identificado tres tipos de regímenes del flujo en canales, denominándolos como: crítico, subcrítico (o lento) y supercrítico (o rápido). Si se produce una perturbación en un flujo subcrítico, la perturbación afectará hacia aguas arriba del flujo; encambio, si se produce en un flujo supercrítico o rápido, la perturbación no ocasionará ninguna alteración aguas arriba. En la captación de las aguas subterráneas, los ingenieros inkas adoptaron el flujo supercrítico o rápido a la salida de la fuente para evitar alteraciones en el flujo y permitir que este sea parejo y uniforme en los canales que constituyen la estructura de captación.

En las caídas de agua, que se observan principalmente en los muros de contención de las terrazas, con el propósito de que la lámina vertiente se desarrolle dentro de la caja del canal y no fuera de ella (como ocurriría si la velocidad del flujo al inicio de la caída fuera considerable), se observa un ingenioso sistema de amortiguamiento de la velocidad, por medio de una contrapendiente en el lecho del canal inmediatamente anterior a la caída, en una longitud menor a un metro, conformando la denominada sección de control, punto inicial de la caída propiamente dicha. La ingeniería moderna emplea, en general, una sobreelevación del canal en la sección de control,



de manera que la ingeniería inka, al construir la contrapendiente, crea una especie de hendidura en lugar de la sobreelevación. Quinientos años de funcionamiento de este sistema, demuestran el éxito de este diseño. Al evitar que la lámina vertiente discurra fuera del canal se evita, además, que se produzca socavación o erosión del lecho del canal por efecto del vacío que se produciría entre el lecho y la cara interior de la lámina vertiente. Otra solución ingeniosa que se observa en las caídas, es el sistema de disipación de la energía al pie. La caída, por el cambio brusco de posición del flujo (de un punto mas alto a un punto mas bajo) ocasiona la transformación de la energía potencial en energía cinética, que es perjudicial por el efecto erosivo que ocasiona el incremento de la velocidad del flujo. La ingeniería inka disipa esta energía, haciendo que el chorro impacte contra una piedra alabeada en forma convexa, de manera que evita el desborde del chorro por salpicadura, para luego disipar la energía residual, por medio de una poza de disipación de pequeñas dimensiones. La ingeniería moderna, sólo considera la poza de disipación la cual debe ser profunda y debe contener algunos elementos adicionales de disipación (como los denominados trampolines de amortiguamiento), siendo mas costosa y, en muchos casos, menos eficiente.

La denominada fuente ceremonial o Baño de la Ñusta, al parecer es más bien una ingeniosa estructura de aforo. El impacto del chorro libre que se observa, caerá más o menos próximo a la pared que contiene al punto de salida, según exista mayor o menor caudal. El aforo tendría lugar por simple inspección visual y puede ser expresado en forma cualitativa: Askha unu kashian = bastante caudal, Kuskan unu kashian = Un caudal medio o, Pisi unu kashian = caudal pequeño.



En la rápida, o canal de fuerte pendiente del canal aductor (llamado acueducto por algunos investigadores), se observa unas sinuosidades en el trazo que muestran, una vez más, el basto conocimiento hidráulico de los ingenieros incas, pues estos cambios de dirección van disipando la energía cinética del flujo a lo largo de su recorrido por la rápida ya que, como se explicó antes, la energía potencial que se transforma en energía cinética, resulta perjudicial por la fuerza erosiva que tiene un flujo de alta velocidad. Asimismo, se puede observar que, en la rápida, en muchos tramos, se presentan secciones semicirculares en el fondo del canal. La ingeniería moderna ha probado matemáticamente, que un canal semicircular ofrece la condición de máxima eficiencia hidráulica. Canales de sección semicircular, también se pueden observar en tramos en roca del canal aductor, en la zona de la ladera próxima a las terrazas del sistema.

4.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La presente investigación, como seguramente todas las investigaciones contemporáneas, se ha visto seriamente afectada y, en alguna forma, obstruida, por la situación de emergencia sanitaria ocasionada por el denominado Covid19, un virus que ocasionó millones de pérdidas de vidas humanas y que tuvo el carácter de pandemia, es decir, tuvo un alcance mundial. Literalmente todo el planeta se vio afectado por este virus. En el Perú, el Covid19, ocasionó el cierre de la economía y el enclaustramiento total de la población. Todos los establecimientos, desde los grandes almacenes, hasta las bodegas más pequeñas, fueron cerrados, dando lugar a una psicosis colectiva que daba la impresión que se vivía una pesadilla o el episodio de una novela inverosímil, jamás imaginada. ¿Cómo entonces



pudo desarrollarse la investigación? El enclaustramiento provocado por el Covid19, magnificó las condiciones para la investigación bibliográfica, abriendo la posibilidad de una investigación cualitativa más prolija. Cuando se planteó la presente investigación, enmarcándola dentro de un enfoque mixto, se pensó en privilegiar lo cuantitativo frente a lo cualitativo pero la realidad invirtió la inicial intención y abrió la posibilidad de profundizar en los aspectos filosóficos de la cosmovisión andina y de verificar, al mismo tiempo, el interés que estudiosos extranjeros, principalmente de universidades norteamericanas, mostraron por Tipón, aportando inclusive muchos de los datos cuantitativos que fueron empleados para fundamentar las conclusiones de esta investigación.

Adicionalmente, y aunque a la larga constituye un episodio puramente anecdótico, con el deseo de que, ojalá, más adelante se corrijan las actitudes de algunos funcionarios de las instituciones destinadas a la preservación de la cultura, vale la pena señalar la negativa de la Dirección Desconcentrada del Ministerio de Cultura del Cusco, a autorizarnos el acceso al Parque Arqueológico de Tipón en calidad de investigadores, pese a haberlo solicitado formalmente y sustentando documentadamente los alcances de la investigación. Esta situación, constituyó una limitación adicional que superar. Ingresar al parque, no como investigadores, sino como visitantes, lesiona el optimismo más entusiasta. Situaciones semejantes, el antropólogo Juan Núñez del Prado, las identificó como una expresión de lo que él llamó “la síndrome colonial” una sucesión de conducta obsecuente ante lo extranjero y lo extranjerizante y segregante ante lo nacional y nativo.



CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN

5.1. CONCEPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN

Concebir es formarse una idea de una cosa, comprenderla. La concepción de un proyecto de riego se refiere al proceso de concebir el proyecto. Es la etapa inicial en la que se identifica la necesidad que se tiene de efectuar la obra o conjunto de obras que constituyen el proyecto. El criterio moderno de formulación de un proyecto, considera cuatro componentes básicos: El decisor, las variables controlables, las variables no controlables y las opciones. Veamos de que manera fueron abordados estos aspectos en la conceptualización del sistema de riego Inka de Tipón. Aunque no existen instrumentos documentales que nos muestren que esto fue así, partiendo de la forma organizada en que era administrado el Estado Inka, podemos inferir que se tomaron en cuenta estos aspectos en la forma siguiente:

EL DECISOR

Es la persona o personas que definen o deciden si se ejecuta o no, tal o cual obra o iniciativa. En el caso de la organización Inka, no podía estar al margen de una política de Estado la ejecución de una obra de las características del sistema de riego Inka de Tipón, por lo que podemos afirmar que la ejecución de este extraordinario y complejo sistema de riego, contó con la anuencia y la decisión favorable del soberano Inka que estuvo al mando del imperio, durante la ejecución de esta extraordinaria obra de riego.



LAS VARIABLES CONTROLABLES

Son los aspectos y circunstancias que son administradas por el decisor, como por ejemplo el otorgamiento de los recursos y el apoyo logístico para la ejecución de la obra; hecho que sin duda fue auspiciado e impulsado por el soberano Sapa Inka.

LAS VARIABLES NO CONTROLABLES

Se refiere a aquellos aspectos que no dependen del decisor como por ejemplo los aspectos climatológicos-atmosféricos que son incontrolables pero que pueden ser abordados y superados con el apoyo técnico. En el caso del Inkario, es evidente que las circunstancias adversas fueron superadas ampliamente contando con los criterios y la experiencia de los ingenieros Inkas que, de acuerdo con la documentación disponible, provenían de lugares tan disímiles como Tiahuanaco y Nazca.

LAS OPCIONES

Se refiere a las alternativas que se tiene al momento de la toma de decisiones. La pregunta que tendrá que absolver el decisor será: ¿Por qué apostar por esta alternativa y no por esta otra?. Esta situación se presenta en todas las decisiones de Estado porque los recursos siempre son limitados y en consecuencia se debe privilegiar algo en detrimento de la satisfacción de otra necesidad, de manera que debe quedar claro que, independientemente de si Tipón fuera un sistema de producción o de experimentación agrícola, la decisión del soberano Inka, privilegió la ejecución del sistema de riego de Tipón.



5.1.1 SOBRE EL PLANEAMIENTO DEL SISTEMA

Desde un punto de vista puramente técnico, Coronado del Águila dice que para el planeamiento de una obra de riego se debe tener en cuenta tres condiciones fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de tierras para el cultivo y disponibilidad del recurso humano necesario para la construcción de la obra y para las labores de gestión (Coronado, 2014).

EL AGUA

Según Wright, la fuente de agua que sería destinada al sistema de riego de Tipón se encontraba plenamente identificada por los antiguos pobladores del lugar. Dice que quienes iniciaron Tipón pueden haber sido los Waris o los Killques, alrededor del año 1000 d. C. y que fueron ellos mismos quienes, aproximadamente en 1200 d. C, construyeron una muralla defensiva de piedras con mortero de barro, de 4.6 a 7.6 metros de altura y de poco más de 6 km de longitud, para cercar el manantial (el recurso más importante para la vida de los hombres, los animales y las plantas) y las tierras agrícolas próximas (Wright, Kenneth, 2008). Citando a Bauer y Covey, el mismo autor señala que, fue alrededor del año 1400 d. C. que el Inka Wiracocha tomó el control de Tipón para su transformación y adecuación, para crear una residencia real para él y sus descendientes, valorando el manantial de agua pura y confiable y la importancia del muro perimétrico para la seguridad del lugar, de manera que habría sido Wiracocha, el soberano Inka que tomó la decisión de construir o reconstruir el sistema de riego de Tipón. Había agua disponible por medio de un manantial, que ofrecía este recurso en forma garantizada



toda vez que ya había sido aprovechado por antiguos pobladores del lugar.

LA TIERRA

Similar afirmación puede hacerse de las tierras de cultivo que se encuentran dentro del perímetro cercado de Tipón, Wright señala que las terrazas fueron conformadas con material transportado, lo que nos indica que en esta etapa también, ya fueron identificadas las canteras tanto del material pétreo que conforma el fondo de las terrazas, como del material seleccionado empleado en las capas superiores de piedras pequeñas, grava, arena y la capa arable de tierra cultivable. Estos materiales, según evaluación hecha por Wright, proceden de una colina adyacente. El planeamiento del sistema de riego de Tipón, concluye Wright, siempre tuvo el propósito claro de concebir un lugar donde el agua, el suelo, la agricultura y el relieve topográfico, estuvieran debidamente integrados.

LA MANO DE OBRA

En cuanto a la mano de obra, este recurso no constituía una limitación para los gobernantes Inkas, toda vez que el modo de producción del Imperio, de acuerdo a la caracterización hecha por Nuñez Anavitarte (Nuñez Anavitarte, 1954), correspondía a una sociedad esclavista patriarcal, en la que la riqueza se concentraba en manos del pater-Estado, propietario de todos los instrumentos de producción, la mano de obra incluida. Respecto a la organización económico social de los Inkas, merece un comentario aparte la célebre polémica entre Mariátegui y Miroshevsky. Mariátegui sostiene que en el incanato, bajo la dirección de sabios y previsores dirigentes, se creó el más desarrollado y armónico



sistema de socialismo, que no existía explotación de clase y que el pueblo incaico vivía en bienestar material. Miroshovsky, por su parte, señala la existencia de clases sociales con intereses antagónicos, la propiedad estatal de la tierra y la existencia de una cantidad permanente de esclavos y una sociedad donde las masas populares estaban privadas de todo derecho. Nuñez Anavitarte se identifica con este último, aunque considera que sus conclusiones no llegan a satisfacer el campo de la teoría económica, por lo que él aborda este tema. Apoyado en la teoría marxista de la economía. Nuñez Anavitarte precisa que el Estado inca correspondía a una sociedad esclavista patriarcal, una forma de explotación históricamente condicionada por el bajo nivel de desarrollo de las fuerzas productivas, hecho que queda en evidencia por las herramientas de calidad primitiva y una miserable forma de vida.

En tales circunstancias, si la mano de obra no constituía una limitación, debe concluirse que se satisfacía plenamente con las condiciones básicas de planeamiento del sistema de riego en Tipón: la disponibilidad del agua, de la tierra y de la mano de obra. Tengamos en cuenta, ahora, los aspectos o consideraciones más importantes del planeamiento.

5.1.1.1. EL PLANEAMIENTO DEL SISTEMA

Cumplidos los requerimientos que demanda una obra de riego, la pregunta que surge ahora es, si específicamente el sistema de riego de Tipón tuvo o no un proceso de planeamiento como obra de infraestructura, un procedimiento de definición de las características arquitectónicas e ingenieriles del sistema de riego antes de su construcción. No se tiene una respuesta categórica y específica, pero, teniendo en cuenta los



estudios y conclusiones arribadas por Vincent Lee referidas a las edificaciones Inkas en general (Lee, V. 1996), podemos intentar una sólida respuesta. Lee, en su Artículo científico denominado Design by Numbers, architectural order among the incas (Diseño por números, orden arquitectónico entre los incas) publicado en 1996, afirma que, de manera unánime, los cronistas, eruditos y estudiosos del imperio Inca están de acuerdo en que los Hijos del Sol eran conspicuos planificadores. Planificaban desde la administración civil hasta el expansionismo militar y desde la producción hasta la organización de sus millones de súbditos, pero, en ninguna parte, dice, esto es más evidente que en los omnipresentes restos de su arquitectura (Lee, 1996). Por su propia naturaleza, dice el investigador, toda la arquitectura inka, excepto la más rústica, fue evidentemente premeditada; señala, además, que hay buenas razones para suponer que los planificadores de los sitios inkas se basaron en proporciones para organizar su trabajo, es más, los ingenieros y planificadores preferían los diseños de cuadrícula en la organización de los edificios en grupos y asentamientos y tenían un criterio unitario para las unidades de medida basadas en unidades correspondientes a alguna medida del cuerpo humano en particular: Un paso largo (*sikya*), la longitud del antebrazo (*cuchuch*), la longitud del pie (*chaqui*), un palmo de la mano (*capa*) o el ancho de la mano (*tajlla*). Lee dice que un estudio cuidadoso de los edificios inkas, revela muy pocas mediciones recurrentes, incluso dentro del mismo edificio, lo que le sugiere que las unidades de medida variaban de una persona a otra en lugar de tener un valor estándar. Señala que los quipus y la yupana fueron potenciales herramientas del



diseño inca, aunque precisa que los quipus eran empleados en el registro de números (actividades de orden logístico), mientras que la yupana, que emplea frijoles, guijarros o cualquier otro grano para contar, era empleada para efectuar operaciones básicas (suma y resta de números de cualquier tamaño y multiplicación y división considerando posiblemente multiplicadores y divisores de un solo dígito). En ambos casos, se emplearon únicamente números enteros. Lee concluye que los ingenieros inkas emplearon proporciones simples y fáciles de recordar y que los constructores podían visualizar mentalmente sus diseños y transmitir la información necesaria a los ejecutores con instrucciones numéricas en lugar de hacerlo por medios gráficos (planos). A este enfoque, Lee denominó “diseño por números” una combinación perfecta de medios y fines y asegura que el proceso constructivo se vio facilitado por la concepción modular de las edificaciones, es decir por la concepción repetitiva de las formas.

Teniendo en consideración estos aspectos, podemos afirmar categóricamente que el sistema de riego Inka de Tipón, fue adecuada y técnicamente planificado y que los ingenieros Inkas echaron mano a toda su experiencia y conocimientos y que fueron convocados los más conspicuos conocedores de la hidráulica de todo el imperio para lograr una obra perdurable hasta nuestros días.

5.1.1.2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

El año 2014, el arqueólogo Condori Llamacchima presentó ante el Ministerio de Cultura, un Informe sobre los trabajos de restauración y puesta en valor del Parque Arqueológico de Tipón (Condori, 2014), en el



cual incluye aspectos sobre las características de localización, relieve y consideraciones geológicas de este conjunto arqueológico que, por su versación, se sintetizan en este ítem y el siguiente.

El Parque Arqueológico de Tipón se encuentra ubicado en la localidad del mismo nombre, parte media del valle de Cusco, entre los distritos de Saylla y Oropesa en la margen izquierda del río Huatanay, comprensión de la comunidad de Choquepata del distrito de Oropesa, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco. Al parque arqueológico de Tipón se puede acceder por dos vías: un camino de herradura, desde el poblado de Choquepata, por el denominado camino Inka y por vía carrozable, a través de un ramal que se encuentra a la altura del kilómetro 21 de la carretera Cusco - Urcos, atravesando el centro urbano de la comunidad de Choquepata en una extensión aproximada de 4 Kms. El detalle de la ubicación, es el siguiente

Comunidad Campesina : Choquepata

Distrito : Oropesa

Provincia : Quispicanchi.

Departamento : Cusco

Altitud media: 3,500 m.s.n.m.

Ubicación geográfica: Entre los 13° 33' 33.64" y 13° 34' 39.18" de latitud Sur y los 71° 47' 08.50" y los 71°46' 52.43" de longitud Oeste.

El Parque Arqueológico de Tipón, ocupa la parte nor-este del distrito de Oropesa, en la vertiente sur de la cordillera del Pachatusan. Sus límites son: por el norte la cordillera del Pachatusan, por el sur el distrito de



Oropesa, por el este la comunidad campesina de Pinagua y por el oeste la comunidad de Huasao.

En su conjunto, el Parque Arqueológico Nacional de Tipón cubre 239.00 há, con un perímetro de 6,445.00 ml, según la delimitación hecha por la Sub Dirección de Catastro del Instituto Nacional de Cultura Cusco.

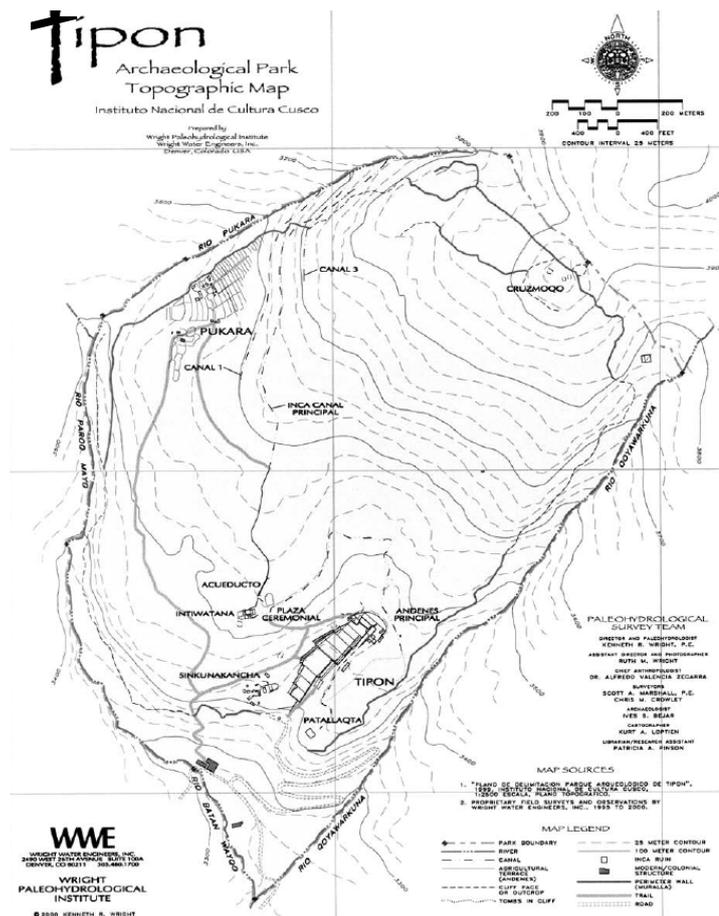


Figura 1 El relieve y emplazamiento de Tipón (Fuente INC-Cusco, reproducido por Wright)



5.1.1.3. RELIEVE

La zona de emplazamiento del sistema de riego Inka de Tipón, se encuentra ubicada en la intercuenca de los ríos Pukara y Qoyawarkuna, que, al juntarse, forman un cauce tributario del río Huatanay por su margen izquierda. La zona de Tipón presenta un relieve variado. En la parte sureste, una planicie con cierta pendiente. Hacia el lado este, una colina de mediana altura, mientras que hacia el oeste, una pendiente pronunciada que alcanza una elevación considerable. Hacia el norte el cerro Cruzmoqo presenta una elevación empinada que alcanza los 3800 msnm en la cúspide. La parte baja, la zona de la planicie, es ocupada por las terrazas del sistema de riego construidas allí con una pendiente controlada pero que, antes de la construcción de éstas, es probable que el drenaje del manantial, haya conformado una cárcava que discurría al encuentro del río Batan Wayqo, nombre que toma el río Pukara en este tramo. Tipón pertenece a la Comunidad Campesina de de Choquepata y los principales cerros de la zona, son: el Pachatusán con una altitud que llega a los 4,700 m.s.n.m. y cuyo divortium aquarum sirve como límite a la Comunidad de Choquepata; el cerro Pucará que alcanza una altitud de 3,700 m.s.n.m., ubicado en el extremo occidental, el cerro Yanaorcco de 3,900 m.s.n.m. y el cerro Chiñiccara de 3,700 m.s.n.m. Fisiográficamente, la zona de estudio presenta rasgos morfológicos que son el resultado de una larga evolución originada por factores tectónicos y por la erosión, que han modelado el paisaje hasta su estado actual (Condori L, 2014).

Tipón forma parte de un valle longitudinal llamado Pinagua, cuya orientación es de Oeste a Este; este valle abarca desde Angostura hasta



la laguna de Huacarpay, con presencia de micro valles en “V” por donde discurren pequeños riachuelos que son tributarios del río Huatanay. Su relieve presenta las unidades geomorfológicas siguientes:

Terraza I.- Conformada por una hilera de cerros: Chunchuqata, Pukakancha y Cruz Moqo, cuyas altitudes alcanzan los 3,750 y 3950 m.s.n.m. Estos, forman parte de la cadena de cerros Pachatusan, de la Cordillera Central del Perú.

Terraza II.- Se caracteriza por una colina natural originada por derrames lávicos que se observan en la parte sur del Parque. Esta terraza natural, está conformada por andesitas y basaltos que son superficialmente visibles en los sectores de Pukutuyoqpampa, Qasayoqpampa, Pinchamoqo e Intiwatana.

Terraza III.- Caracterizada por constituir depósitos de material fluvioglacial, rocas, gravas gruesas y arcillas. Estos depósitos son visibles en el micro valle de Wayqopampa y en Choquepata (la población de Tipón).

La configuración geológica de Tipón, por su parte, presenta las siguientes características:

Grupo Mitu.- Constituido por areniscas cuarzosas de color blanco. Esta formación se puede observar en los cerros de Paqo-orqo y Ninaqaqa. Tiene una antigüedad de 240'000,000 de años y corresponde a la denominada serie Pérmico Superior.

Formación Yuncaypata.- Está constituida por capas rojas (lutitas, calcitas y yesos). Estos estratos se pueden apreciar en los sectores de Iglesiaraqui y Patallaqta. Con relación al área del Parque Arqueológico de Tipón, esta



formación se sitúa en la parte sur este. Su antigüedad es de 100'000,000 de años y corresponde al periodo entre el Cretácico y el Terciario.

Volcánico Reciente.- Se caracteriza por presentar derrames lávicos de andesitas, basaltos y traquiandesitas. El 70% del área del Parque Arqueológico, está conformando por este afloramiento que tiene una antigüedad de 600,000 años, correspondiendo al periodo Cuaternario, reciente.

Depósitos Coluviales.- Están constituidos por materiales detríticos que cubren el fondo de los micro valles Paroqmayo y Wayqopampa, los cuales han descendido de las vertientes de la misma zona. Los escombros se pueden apreciar en las márgenes izquierda y derecha de los riachuelos.

Depósitos Eluviales.- Estos depósitos se caracterizan por la alteración y fragmentación de rocas in situ, que fueron disgregados por fenómenos atmosféricos. Esto se puede apreciar en los sectores de Paroqmayo y Pitupugio.

5.1.1.4. BENEFICIARIOS

Wright dice que Tipón fue construido para usos de la nobleza Inka (Wright, Kenneth, 2008). Cabría preguntarse ¿qué usos? Wright aclara que “al final” se construyeron terrazas agrícolas especiales para cultivos experimentales. Por su parte, Villena concluye de manera semejante (Villena, 2002), dice que Tipón fue construido como un centro ceremonial y de experimentación agrícola. Sin embargo, Angles Vargas, citando a Garcilaso de la Vega, dice que Tipón fue un regalo del Inka Wiracocha a su padre Yawar Waqaj con ocasión de una negociación hecha a fortiori entre padre e hijo por la sucesión del trono (Angles, 1988). Yawar Waqaj



abdicaba del poder en favor de su hijo Wiracocha y a cambio éste le obsequiaba una Casa Real para su morada, según refiere Garcilaso de la Vega en sus Comentarios Reales, “con todo el regalo y delicias que se pudieron imaginar de huertas y jardines y otros entretenimientos reales...” Yawar Waqaj no volvería al Cusco y Wiracocha se haría de la borla imperial de los Inkas.

Teniendo en consideración estos aspectos, podemos concluir que los beneficiarios iniciales fueron los nobles de la corte imperial del Inka Yawar Waqaj y que posteriormente, dadas las condiciones de la infraestructura disponible y, posiblemente, las exigencias del clima y la necesidad de atender la producción agrícola, Tipón pasaría a ser un centro de experimentación para la producción, beneficiando con los resultados de sus investigaciones, a toda la población del Tawantinsuyo.

5.1.1.5. VULNERABILIDAD

La Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (ECHO), a través de su Programa DIPECHO, ha editado un texto informativo denominado “*Cinco herramientas para la gestión del riesgo de desastres*” (DIPECHO, 2012), en el cual define el **peligro** como la probabilidad de ocurrencia de un evento natural o inducido, potencialmente dañino, en un período específico y en una localidad o área determinadas. Los peligros pueden ser naturales, socionaturales y antrópicos y precisa que, la **vulnerabilidad**, es la susceptibilidad de una unidad social (familias, sociedad) a sufrir daños por acción de un peligro. ¿Habrán los ingenieros Inkas, identificado en Tipón los peligros que, eventualmente, hicieran vulnerable este complejo sistema de riego y que, por cierto, perturbaran a



los moradores y/o beneficiarios de este sistema? Si se tiene en cuenta que el sistema de riego de Tipón, al momento de su planeamiento ya había sido construido de manera incipiente por pobladores de los pueblos Wari o Killke, resulta evidente que los ingenieros de entonces debieron identificar las vulnerabilidades del sistema. Una evaluación actual, permite observar que los mayores peligros que amenazan al sistema de riego Inka de Tipón se encuentran en la ladera abrupta por la que sigue el trazo del canal aductor, entre la captación del río Pukara y las proximidades del denominado acueducto -hasta el lugar donde la ladera se presenta empinada- y en donde el peligro que se evidencia, son las avalanchas o huaycos ocasionados por los deslizamientos del suelo superficial de la ladera abrupta. Cuando el suelo superficial se satura por efecto de las lluvias y la pendiente del terreno es empinada, al cambiar las propiedades mecánicas de resistencia del suelo por efecto de la humedad, disminuye la resistencia de este y se forman superficies de falla, de tal manera que se desprenden bloques de tierra que se deslizan sobre estas superficies de falla, ocupando violentamente las partes bajas del talud empinado; este fenómeno se conoce como deslizamiento. Cuando el suelo está completamente saturado el deslizamiento es en forma de lodo y toma el nombre de avalancha o huayco (en quechua) Este fenómeno se verifica durante las temporadas de lluvias, de manera natural y corresponde a la geodinámica propia de la tierra.

5.1.1.6. VIDA UTIL DEL PROYECTO

El concepto de vida útil de un proyecto, en la actualidad, está asociado al concepto de rentabilidad del proyecto. La vida del proyecto será útil hasta



que éste sea rentable. Una definición más técnica dice que la vida útil de un proyecto, es el período de tiempo en el cual las infraestructuras quedan fuera de servicio por el agotamiento de sus propiedades mecánicas, así, la vida útil de un puente estará dada hasta el momento en el que sus elementos estructurales sufran la denominada fatiga mecánica, que es cuando la estructura está a punto de colapsar debido al proceso continuo de carga y descarga del puente. Teniendo en cuenta este criterio, que es distinto a la exclusiva concepción del mercado, podemos afirmar que las estructuras de Tipón y, en general las obras de infraestructura hechas por los Inkas, tenían una vida util perdurable en el tiempo. Así, el sistema de riego Inka de Tipón, luego de haberse efectuado un proceso de mantenimiento, que es habitual en toda obra de infraestructura, permanece intacto a la fecha de tal manera que, 500 años después de su construcción, se encuentra completamente operativo y en condiciones de brindar el servicio que brindara hace medio milenio, toda vez que el material principal empleado en su construcción, es la piedra, cuyo proceso de deterioro, principalmente por erosión, es mínimo y en muchos casos, imperceptible.

5.1.1.7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Se entiende por operación, a la puesta en marcha del sistema una vez que se haya concluido con la construcción de la infraestructura. No se conoce el tiempo de ejecución de la obra del complejo de Tipón, pero debió ser una tarea bastante delicada con la participación de ingenieros especialistas provenientes de distintos lugares del Tawantinsuyo y un



vasto contingente de mano de obra especializada. En las condiciones actuales en que se cuenta con equipo mecánico para el acarreo de materiales y el movimiento de tierras y contando con el número adecuado de personal para la preparación del material pétreo, el Ing Iván Cruz Tello, docente universitario y especialista en programación de obras, estima que una obra de las características de Tipón, requeriría fácilmente un tiempo de ejecución de obra de unos dos años en condiciones normales. Estima, asimismo, que para el tiempo en que fue ejecutado el sistema de riego de Tipón, contando con la mano de obra necesaria para la preparación de los elementos líticos y el acarreo de materiales y teniendo condiciones continuas de ejecución, la obra tendría una duración estimada de por lo menos unos 20 años, hasta su puesta en operación.

El mantenimiento, por su parte, se refiere a los trabajos de reparación y refacciones menores, que permiten mantener la operación del sistema en óptimas condiciones. Mientras el Estado estuvo conducido por los Inkas, no debió existir ningún tipo de problemas en cuanto al mantenimiento de Tipón se refiere, toda vez que el Estado administraba la mano de obra y todos los ciudadanos entre los 18 y 50 años de edad estaban obligados a trabajar en las obras del Estado y de la nobleza que detentaba el poder, por un sistema denominado Mita que consistía en labores por turno, por millares de trabajadores en forma conjunta y debidamente organizada (Espinoza S., 2011).



5.1.2 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICAS

5.1.2.1. OFERTA HÍDRICA

La oferta hídrica del sistema de riego Inka de Tipón estuvo dada por dos fuentes: una fuente de aguas subterráneas y una fuente de aguas superficiales. La fuente de aguas subterráneas corresponde a un manantial ubicado en la parte inferior de la ladera del cerro Cruzmoqo que emerge en la terraza número 12 del sistema de riego conformado por 13 terrazas, a una altitud de 3450 msnm y que produce un caudal casi constante de 15 l/s en promedio. La fuente superficial del sistema, está constituida por el río Pukara el cual de acuerdo con las estimaciones hechas por Wright en setiembre de 2000 (Wright, Kenneth, 2008) son del orden de 21.5 l/s. en la zona de captación, a 3690 msnm. La cuenca tributaria definida para este punto, tiene un área de 3365 km², aunque el caudal es sostenido, en la parte alta, por el aporte de aguas subterráneas.

5.1.2.2. DEMANDA HÍDRICA

Para conocer la demanda hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, calculamos la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite obteniendo un valor de 640.7 mm/año; Wright por su parte estima un valor de 990 mm/año estableciendo como más crítico el mes de mayo, con una demanda de 120 mm que equivale a un caudal de 0.93 lts/seg/ha para un riego de 12 horas por día, de manera que, considerando las estimaciones de Wright para el uso consuntivo y el área de riego total de 2.93 há, el caudal necesario para satisfacer las necesidades hídricas del sistema, es de 2.72 l/s.



5.1.3 PLANTEAMIENTO HIDRÁULICO

5.1.3.1. COSMOVISIÓN ANDINA

¿Qué se entiende por cosmovisión? Para definir con claridad el significado del término cosmovisión, debemos referirnos, primeramente al significado de filosofía ¿Qué es la filosofía? Estermann dice que la filosofía occidental nos presenta un sinnúmero de definiciones de lo que es filosofía, prácticamente tantas definiciones como filósofos existen (Estermann, 2018), sin embargo, concluye, se puede distinguir un sentido amplio y un sentido estricto para definirla. En un sentido amplio, la filosofía es todo esfuerzo humano para entender el mundo, respondiendo a las preguntas universales que la humanidad se ha formulado en todos los tiempos y en todas las épocas, mientras que, en un sentido estricto, la filosofía como tal, requiere racionalidad lógica, metodología sistemática, actitud anti-mitológica, científicidad, individualidad histórica del filósofo. Esta definición, según el propio Estermann, hace que la filosofía sea un privilegio exclusivo de occidente. A la definición amplia de filosofía, algunos autores llaman **cosmovisión**. De esta manera, la cosmovisión andina sería la manera de entender el mundo de acuerdo a las respuestas que los hombres de la cultura andina han dado a las preguntas sobre el origen cósmico, el estado actual y el destino de la humanidad.

Por su parte García Miranda, nos aclara y dice que la cosmovisión tiene como base la percepción del cosmos, entendido este como el mundo material e inmaterial que engloba el universo. Expresa la



manera de ver, sentir y vivir la vida de las personas, integra las percepciones, simbolizaciones, explicaciones, interpretaciones, concepciones, conocimientos, tecnologías, valores y creencias, contruidos sobre el entorno natural, social, mental y espiritual de los pueblos. Así, la cosmovisión andina sería el pensamiento etnocampesino vinculado a su cotidianidad, la concepción sobre su entorno físico y cultural que constituye el conjunto de ideas y normas que pautan, regulan, estimulan o sancionan la vida de la sociedad. Los protagonistas etnocampesinos tienen sus propios procesos cognitivos para indagar, conocer, probar, experimentar y explicar su ser y estar desde su configuración natural o sociocultural ejercitando la capacidad de percepción comparativa con otros procesos socioculturales similares y diferentes (García M, 2015).

LA CONCEPCIÓN DUAL ANDINA

Lo que sigue, corresponde a la investigación publicada bajo el nombre *Hanan y Hurin, un modelo de organización y clasificación del mundo andino*, hecha por Anne Marie Hocquenghem (Hocquenghem, 1984).

La organización y clasificación del mundo andino, dice, se basa en el reconocimiento de dos partes complementarias y opuestas: hanan y hurin. Cada parte se divide a su vez en otras dos mitades hanan y hurin. Esta concepción doblemente dualista genera una cuatripartición que se proyecta en la dimensión del espacio, el tiempo y la sociedad. La mitad hanan representa el lado derecho, lo mayor, lo masculino y tiene a su vez una mitad que es hurin. Por su parte la mitad hurin tiene una mitad hanan y representa el lado izquierdo, lo menor y lo



femenino. Estas dos partes y sus mitades se reúnen y se reproducen en un centro que mantiene un equilibrio entre lo hanan y lo hurin y es opuesto a los puntos del mundo donde lo hanan y lo hurin no se equilibran. Este centro es análogo a la totalidad del mundo que contiene tanto a hanan como a hurin.

Hanan tiene predominio sobre hurin y esta desigualdad genera un orden jerárquico entre las partes y mitades. Esta jerarquización se determina según su posición con relación al centro, tanto en el espacio (territorio), como en el tiempo y en la sociedad. Es una visión antropomorfa y antropocéntrica que permite explicar esta organización y clasificación del mundo andino. Consideremos el aspecto espacial para ilustrar esta concepción del universo:

El espacio se organiza a la imagen del cuerpo del hombre que consta de dos partes diametralmente simétricas: la derecha (D) y la izquierda (I), divididas en dos mitades, también diametralmente opuestas: la del frente (Fr) y la de la espalda (Es), pero el cuerpo, además, establece tres zonas concéntricas: una zona interior (In), una zona exterior (Ex) y una zona superficial (Sf) entre las dos anteriores; de manera que esta organización es a la vez cuatripartita (D-Fr, D-Es, I-Fr, I-Es) y tripartita (In-Ex-Sf). A manera de comentario, podemos agregar que esta partición cuatripartita y al mismo tiempo tripartita, determina 12 intervalos que, sin duda, son representados por los vértices exteriores de la gran chacana o cruz andina, que tiene cuatro brazos conformados por tres peldaños cada uno, en una representación geométrica perfecta de la cosmovisión andina.



El espacio tiene la misma concepción en su organización: A la derecha (D) está la vida y a la izquierda (I), la muerte. Estas dos partes se dividen en dos mitades opuestas: la desaparición (Fr) y la aparición (Es). La vida o la muerte transcurren en un momento presente (Sf), entre un momento pasado (Ex) y un momento futuro (In). En el camino de la vida y de la muerte el hombre enfrenta el pasado, lo anterior y deja atrás el futuro, lo posterior. Hay que anotar que para el hombre andino, la muerte es la vida “al revés”, es donde se recojen los pasos que se dieron en vida.

De la misma manera, la sociedad se conforma a imagen del cuerpo del hombre: la masculina (D) y la femenina (I), que se dividen, a su vez, en dos mitades: la de los antepasados (Fr) y la de los descendientes (Es). Asimismo, la sociedad se compone de tres clases: la de las autoridades (Sf), la de los que se unen (Ex) y la de los que se oponen (In).

Así, en síntesis, el orden jerárquico establece que es de hanan: la derecha, el frente, lo exterior, la vida, la desaparición, el pasado, lo masculino, los antepasados, los que colaboran. Es de hurin: la izquierda, la espalda, lo interior, la aparición, el futuro, lo femenino, los descendientes, los que se oponen.

5.1.3.2. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA

El planteamiento hidráulico de un sistema de riego, tiene lugar durante la etapa de planeamiento del proyecto y consiste en definir el lugar y delimitación de las tierras por regar, así como la ubicación de las



diferentes estructuras hidráulicas que requiere el sistema para satisfacer las necesidades de agua en las tierras de cultivo, mediante un esquema que garantice la entrega del agua de manera eficiente desde las fuentes hasta el punto más alejado de éstas tierras.

Aunque no se tienen pruebas específicas para el caso de Tipón, existen algunas evidencias de que los Inkas empleaban modelos de arcilla para representar las características físicas de un determinado emplazamiento. Vincent R. Lee, en su ya referido artículo *Design by numbers, architectural order among the incas*, hace referencia a la existencia de un modelo de arcilla que representaba una cancha real en Ollantaytambo (Lee, 1996), aunque considera que quizá, un modelo de esta naturaleza habría sido de poca utilidad para sus constructores debido a la falta de detalles y de dimensiones precisas y escaladas. Lee presenta una ilustración de la maqueta y precisa que, inclusive en la actualidad, por muy elaborados que fueran, los modelos a escala se emplean únicamente para comunicar ideas.

Tomando en consideración lo señalado por Lee y dada la distribución perfecta de las diferentes estructuras hidráulicas del sistema de riego Inka de Tipón construidas a base de piedra, resulta fácil imaginar que el planteamiento hidráulico haya sido concebido y propuesto utilizando maquetas que, aunque no hubieran definido posiciones relativas exactas, pudieron haber dado a luz la concepción general del sistema, proponiendo el emplazamiento de los canales, previsualizando las terrazas, definiendo las estructuras hidráulicas necesarias incluyendo el sistema de drenaje y el emplazamiento de



las edificaciones y espacios necesarios durante el proceso de construcción.

De haberse planteado la concepción general del sistema, como se refiere precedentemente, resulta mucho más fácil inferir que tal procedimiento haya sido utilizado también para la propuesta de las obras específicas (o al menos algunas de ellas) tales como el sistema de captación de agua subterránea, cuya concepción arquitectónica debió requerir algo más que la simple imaginación de los constructores.

En definitiva, el sistema de riego Inka de Tipón se planteó considerando dos sistemas de captación, tres sistemas de canales, diversas obras de arte y diferentes áreas específicas: la zona agrícola, una zona ceremonial y varias zonas de edificaciones.

De los dos sistemas de captación, uno es de aguas superficiales en el río Pukara y el otro, de aguas subterráneas, en el manantial que queda al pie del cerro Cruzmoqo y en la cabecera de las terrazas a irrigar.

Los sistemas de canales de Tipón son tres: Un canal aductor que se encarga de conducir el agua superficial, desde el río Pukara hasta las zonas ceremonial y agrícola; un sistema de canales principales provenientes del manantial (en la zona de las terrazas de cultivo) y un sistema de canales secundarios que derivan de los canales principales.



Entre las obras de arte planteadas, destacan: una contracción brusca en la fuente de captación de aguas subterráneas, diversos saltos o caídas de agua para pasar de un andén superior a un andén inferior por medio de un chorro casi vertical; la fuente ceremonial conocida también como el baño de la ñusta (que consideramos se trataría, mas bien, de un aforador o estructura de medición del caudal) y, una rápida que forma parte del canal aductor.

La zona agrícola de Tipón, corresponde a la zona de las terrazas o andenes o pata patas, que han sido identificadas en número de trece terrazas, nominadas ordinalmente empezando por la terraza más baja que corresponde a la actual zona de estacionamiento de vehículos. Según Wright, los ingenieros incas rellenaron la quebrada con rocas y tierra procedentes de la colina adyacente que queda hacia el este y precisa que en el fondo del relleno colocaron grandes rocas que permiten tener un buen drenaje en el subsuelo; encima, colocaron piedras más pequeñas y sobre éstas, una capa de grava y arena para formar un filtro, completándose el relleno con una gruesa y rica capa de tierra fértil adecuada para cultivos especiales y variedades de plantas importantes. Las terrazas así construidas, permitían aprovechar al máximo la humedad del suelo pues el agua de una terraza podía ser aprovechada por la terraza ubicada mas abajo. Por otra parte, los muros de sostenimiento de las terrazas, construidos con piedras de origen volcánico, permiten almacenar el calor solar del día, para irradiarlo durante la noche, protegiendo los sembríos de las heladas.



La zona ceremonial se encuentra ubicada hacia el norte del complejo arqueológico, en una parte elevada respecto de los andenes. En ella existen construcciones con fines ceremoniales. Esta zona recibe agua del canal aductor proveniente del río Pukara.

También se observan emplazadas diversas zonas de edificaciones alrededor de los andenes, construidas con diferentes propósitos. Destacan la zona denominada Sinkunkancha, hacia el suroeste del complejo, considerada zona residencial con plaza ceremonial y la zona próxima a la fuente de agua subterránea, hacia el noreste del complejo, donde existen edificaciones denominadas Grupo Kancha.

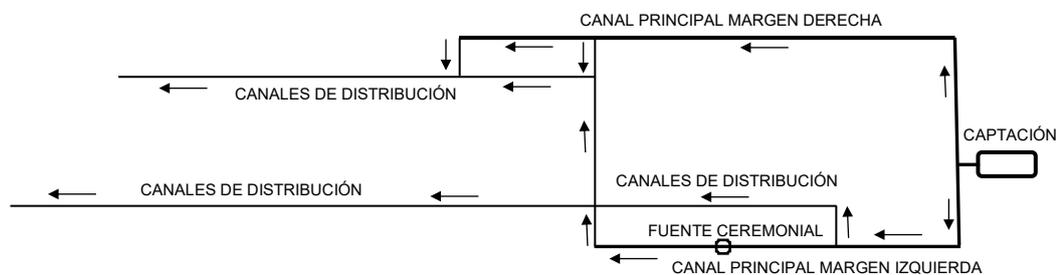


Figura 2 Esquema hidráulico del sistema de riego Inka de Tipón

5.1.3.3. EL SIMBOLISMO DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN.

En el planteamiento del sistema de riego de Tipón, está presente la cosmovisión dual de los Inkas. Esta es la razón por la que se consideraron dos captaciones, aunque podría justificarse la captación del río Pukara, como una necesidad para el abastecimiento del centro o zona ceremonial que queda a mucha mayor altitud que el manantial, -fuente principal de abastecimiento de agua del sistema- es muy



probable que en la concepción del sistema de riego se considerara dotar de agua al centro ceremonial, como una necesidad propia de la dualidad en todo orden de cosas. Un criterio similar se puede esgrimir respecto del planteamiento de los canales del sistema de riego de las terrazas. El esquema Inka plantea dos sistemas de canales principales, uno a cada lado del conjunto de terrazas, planteamiento que parece innecesario toda vez que un criterio técnico actual, haría una propuesta mucho más simple, plantearía un canal principal por uno de los márgenes y la derivación del agua a las terrazas por medio de canales secundarios. Del mismo modo, las terrazas fueron divididas en dos grupos definidos por un canal de derivación que recorre por la cabecera de la terraza 5 de extremo a extremo. Este canal es bastante representativo, se inicia formando parte de un conjunto de escaleras ornamentales ubicada hacia el lado este de las terrazas y que destacan por su composición estética. Las terrazas más altas quedan al lado derecho del canal y constituyen las hanan patapatakuna o terrazas altas, mientras que hacia el lado izquierdo del canal, se ubican las terraza bajas o urin patapatakuna.

Pero si estas estructuras y su distribución en el campo nos muestran la concepción dual de los Inkas, la captación del manantial constituye toda una revelación. Es un mensaje de la cosmovisión dual andina escrito en piedra. Esta captación se ubica en la terraza Nro 12 del sistema de riego. El punto de captación consta de una caja de recolección de forma rectangular, de la cual sale un canal único que, luego de un corto recorrido, se divide en dos canales que corren



paralelos, para verter sus aguas por medio de pequeñas caídas, en dos pozas independientes, una para cada canal, desde las cuales vuelve a salir el agua por medio de canales independientes que se juntan en un punto de encuentro al que se denomina tinkuy, a partir del cual forman un solo canal que vierte sus aguas en una poza rectangular desde la cual emergen cuatro canales paralelos que descargan en una poza de recolección grande, de forma también rectangular, a la que vierten sus aguas por medio de caídas simultáneas e independientes, que son las más visibles por la estética ornamental que presentan. De esta poza que recoge las aguas de los cuatro canales, las aguas son escurridas a través de un vertedor frontal, mediante una caída única, hacia otro pozo de recolección final, desde el cual sale el agua hacia los canales de riego del sistema. Apoyándonos en el esquema y la interpretación gráfica presentados por Villena Vargas, que se muestra a continuación, (Villena, 2002) podemos dar “lectura” al “significado” que encierra este complejo recorrido de canales: El punto de captación, identificado plenamente mediante una cámara de recolección de las aguas subterráneas, es una paqarina. García Miranda dice que paqarina es una palabra que proviene del vocablo paqariq que significa “nacer”, de manera que, paqarina es el origen, la fuente, el lugar por donde surge la vida y ha nacido el hombre, por lo general se le identifica con las lagunas, montañas, cuevas y ojos de agua (García M, 2015). El canal que sigue a la captación, según la interpretación de Villena Vargas, es un paqarina mayu o río de los orígenes y es de naturaleza andrógina que



al dividirse en dos canales independientes da lugar a la conformación de un yanantin o pareja en la que el canal del lado derecho representa lo masculino y el del lado izquierdo lo femenino, el hanan y el urin de los opuestos complementarios en la cosmovisión andina. Las pozas independientes en las que descargan estos canales, constituyen los depósitos masculino y femenino que tienen que ver con la reproducción y desde los cuales se producen los efluvios necesarios que al juntarse en el punto de unión o tinkuy inundarán el depósito o fuente de la vida, desde donde surgirán los cuatro canales que conforman la cuatripartición perfecta de la cosmovisión andina, las dos parejas simétricas hanan-urin, hanan-urin que representan el todo: la organización espacial, temporal y social del mundo andino a partir de la concepción antropomorfa y antropocéntrica de su cosmovisión. Las aguas provenientes de los cuatro canales se funden en un pozo rectangular, el más grande de todos, que representa la vida o kausay, que es única y en la que todo se interrelaciona para luego, después de un breve recorrido, desembocar definitivamente en un único final al ingresar a una gran fuente que representa la muerte que, para la cosmovisión andina, es el retorno a la paqarina.

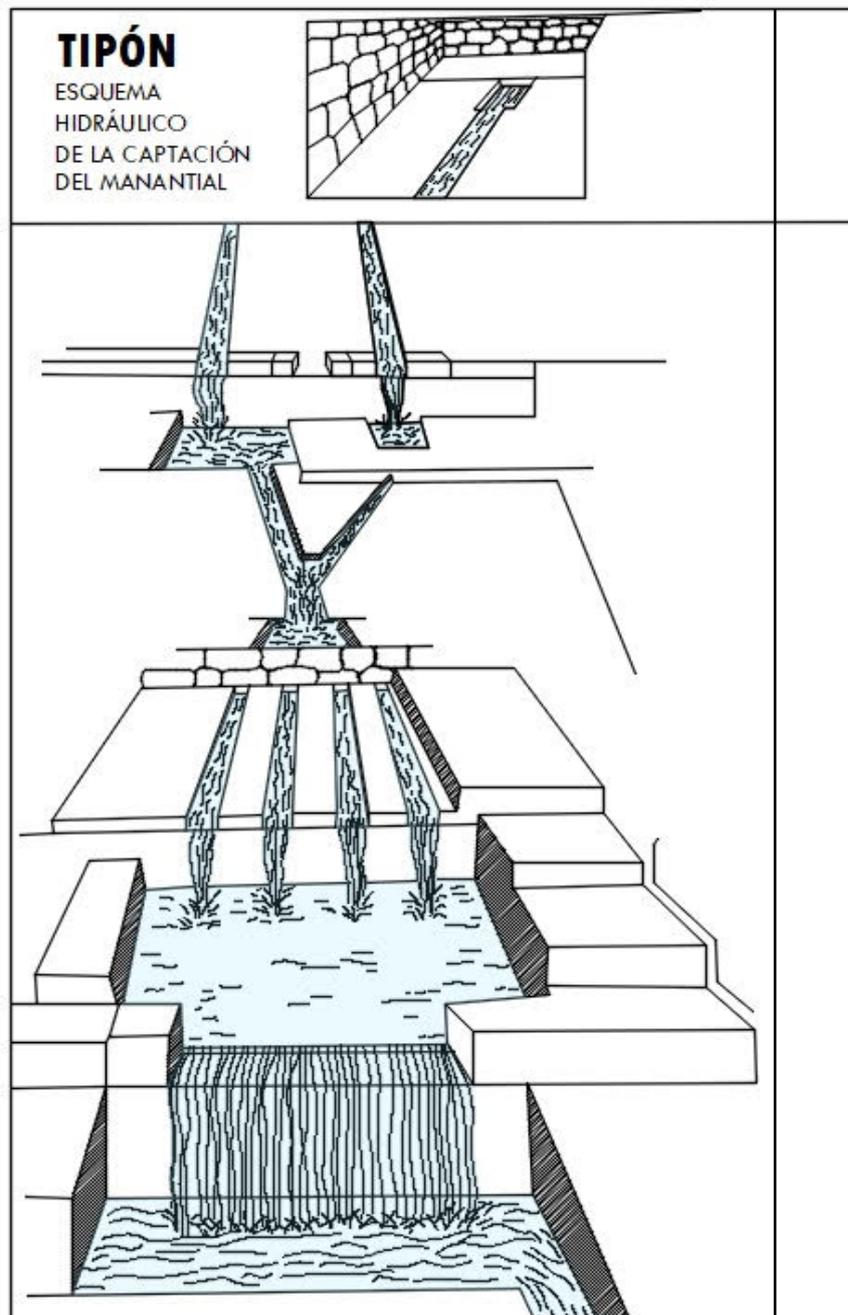


Figura 3 Representación esquemática de la fuente de aguas subterráneas
(Adaptado de Villena Vargas)



5.1.4 COSTOS Y BENEFICIOS

5.1.4.1. COSTO DE PRODUCCIÓN O DE FÁBRICA DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN

Los costos de producción, dentro de una economía de mercado, se refieren al costo monetario de producir un bien; sin embargo, cuando no se trata de una economía de mercado, estos conceptos no pueden ser aplicados. Así, los conceptos de la economía de mercado no son aplicables a la sociedad Inka, en la sociedad Inka no se conocía el dinero. ¿Cuál fue, entonces, el costo de producir la infraestructura del sistema de riego Inka de Tipón? Waldemar Espinoza en su Ensayo sobre Economía Política y Doméstica del Tahuantinsuyo (Compendio de Historia Económica del Perú, 2010) haciendo referencia a las construcciones ciclópeas de esa época, destaca el asombro que siempre ha despertado la técnica y el arte arquitectónico del incanato, al imaginar la forma en que eran movilizadas las enormes piedras empleadas en esas construcciones, sin haber conocido la rueda, las poleas ni las máquinas de hierro y sin siquiera tener animales de tiro. La respuesta es una sola, dice Espinoza, el potencial de la energía muscular humana de miles de trabajadores que contribuían por ciclos o tandas en las obras del Estado, en forma gratuita, mediante el sistema denominado Mita. La Mita configuraba un trabajo ordenado, planificado y supervisado por el Estado por medio de numerosos funcionarios; eran trabajos llevados a cabo en forma de faenas colectivas en las que intervenían, de manera simultánea, miles de trabajadores, llamados mitaq o mitayos, procedentes de los ayllus de



todo el Tahuantinsuyo. Espinoza precisa que, en lo que respecta a los aspectos cuantitativos del trabajo, los Inkas sabían computar la cantidad de trabajadores y el cronograma necesario para culminar sus trabajos y las tareas que demandaban estas construcciones. La mita era planificada por cuadrillas, haciendo venir, por turnos, a trabajadores de todo el Imperio. El soberano retribuía a estos trabajadores, con comida, bebida (chicha) y otros productos secundarios (coca y ropa) y premios de estímulo para los trabajadores más destacados. Los mitayos no eran esclavos a perpetuidad, al concluir con su turno, retornaban a sus ayllus provistos de los bienes que el Inka era pródigo en obsequiar.

Resulta, pues, muy difícil cuantificar los costos del sistema de riego Inka de Tipón. Espinoza señala que, para las obras de infraestructura Inka, solamente podríamos hacer intentos para deducir la cantidad de energía humana disponible para calcular los trabajadores que de hecho se reunían. Así, tomando en cuenta únicamente la mano de obra, considerando un promedio de 500 trabajadores diarios por espacio de 20 años y estimando que el trabajo diario tenía una duración de 9 horas efectivas (Espinoza señala que trabajaban 12 horas diarias, a las que habría que descontar las horas de comida y las de atención de algunas necesidades fisiológicas u otras); la mano de obra en el sistema de riego Inka de Tipón sería del orden de 32.85 millones de horas-hombre. Cualquier otro costo, podría ser estimado a partir de estos cálculos.



5.1.4.2. UTILIDAD DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta la superficie de las terrazas centrales (21211.48 m²), las terrazas del lado derecho (4070.25 m²) y las terrazas del lado izquierdo (4042.25 m²); el sistema de riego Inka de Tipón permitía regar una extensión de 29323.98 m² que equivalen a 2.93 hás netas de cultivo. Como se señaló, al hablar de los beneficiarios, inicialmente el sistema de riego fue proyectado para que sirviera de morada del Inka Yahuar Huaqaj pero, al parecer, en definitiva, sirvió como una estación experimental de productos agrícolas hecho que, de haberse verificado, debió brindar utilidad a toda región del Cusco y, es posible que los resultados de la experimentación debieron favorecer a todo el Tahuantinsuyo. Desafortunadamente no existe información definitiva al respecto, aunque sin duda, la extensión del área de cultivo bajo riego es un buen indicador para expresar que no se trataba de un centro de producción masiva si no, más bien, selecta.

5.1.5 IMPACTO AMBIENTAL

5.1.5.1. LA RACIONALIDAD ANDINA

El término “racionalidad” empleado por la filosofía, es un concepto occidental y constituye quizá, el presupuesto mas importante de la filosofía occidental aunque no se deriva exclusivamente de la razón ni se reduce al análisis del pensamiento. La racionalidad andina, dice Estermann, a quien corresponde la conceptualización de este tópico (Estermann, 2018), es un modo de concebir la realidad, una manera característica de interpretar la experiencia vivencial, un modo integral de entender los fenómenos, un esquema de pensar, una forma de



conceptualizar nuestra vivencia, un modelo de representar el mundo. Es el producto o resultado de un esfuerzo integral (intelectivo, sensitivo, emocional y vivencial) del ser humano, para ubicarse y orientarse en el mundo que le rodea.

Sin embargo, y esto es lo más importante, no se trata de la realidad misma, sino, de una experiencia interpretada, valorada y ordenada mediante parámetros propios del modo de vivir de las personas, pero el modo de vivir no es la base de la racionalidad, sino únicamente una de sus expresiones, pues sería desacertado pensar que primero existiera una cierta racionalidad y que de esta emane, posteriormente, un cierto modo de vivir, de celebrar, de actuar, de producir y de pensar. La racionalidad sería entonces la lógica inherente a una cierta estructura sociocultural dentro de ciertas coordenadas del tiempo y del espacio. La racionalidad es un paradigma o modelo característico de un cierto grupo dentro del cual las múltiples expresiones de la vida tienen una explicación coherente y significativa, aunque el propio grupo no hace explícitos estos presupuestos, sino, los vive

CARACTERÍSTICAS DE LA RACIONALIDAD ANDINA

De acuerdo con la sistematización hecha por Estermann, tres son las características de la racionalidad andina: presencia simbólica, relacionalidad del todo y racionalidad no racionalista. Veamos en que consisten:

1. PRESENCIA SIMBÓLICA

De acuerdo con esta característica, para la racionalidad andina la realidad se presenta en forma simbólica en lugar de hacerlo de



manera conceptual. El propósito inicial del hombre andino no es la adquisición de un conocimiento teórico y abstracto del mundo que le rodea sino, una inserción mítica y su representación litúrgica y ceremonial simbólica, puesto que la realidad se “revela” en la celebración de la misma. El símbolo es la presentación de la realidad en forma muy condensada, eficaz y hasta sagrada. No es una mera representación, es una presencia vivencial en forma simbólica. Para la concepción andina la realidad en si, no es lógica ni lingüística sino simbólicamente presente. El símbolo predilecto no es la palabra ni el concepto, es la realidad misma y la realidad no está presente como un material crudo que hay que procesar mediante la forma de la cognición, la realidad está presente como símbolo, es decir como un complejo de signos concretos y materiales que se refieren mutuamente unos a otros. El hombre andino no representa el mundo, lo hace simbólicamente presente y mediante el ritual, lo conoce vitalmente.

2. RELACIONALIDAD DEL TODO

El vocablo *arjé*, en la filosofía occidental, significa el fundamento y principio irreductible de la realidad; es un ente concebido como “sustancia” que puede ser finita o infinita. De acuerdo con este concepto, en la filosofía andina el *arjé* no es un ente sustancial, el *arjé* en la filosofía andina es la relación, es decir, la relación es la verdadera sustancia andina, todo es relación.

La relacionalidad de la concepción andina se manifiesta sobre todo en el plano antropológico. En la tradición occidental la



individualidad y la autonomía del ser humano son rasgos importantes. El ser humano particular es el eje principal del conocimiento. Para la filosofía andina el individuo como tal, no es nada. Si no se halla insertado en una red de múltiples relaciones, es algo totalmente perdido; así, si una persona ya no pertenece a la comunidad local (ayllu) porque fue expulsada, es como si ya no existiera. Una persona aislada y des-relacionada es un ente socialmente muerto. Desconectarse de los vínculos naturales y cósmicos equivale a firmar su propia sentencia de muerte.

El verdadero *arjé* para la filosofía andina, es justamente la relacionalidad del todo, la red de nexos y vínculos que es la fuerza vital de todo lo que existe. No existe nada sin esta condición trascendental, se manifiesta en todos los niveles y campos de la existencia, es la clave de toda interpretación del hombre andino.

3. RACIONALIDAD NO RACIONALISTA

El modo principal de acercamiento a la realidad del hombre occidental es por medio de la vista, un sentido aparentemente más perfecto que los otros sentidos. La filosofía y la cultura occidentales son altamente visuales, lo que puede observarse en el valor predominante de los medios visuales de comunicación.

Por su parte, la cosmovisión andina, en su acercamiento a la realidad, enfatiza las facultades no-visuales como el tacto, el olfato y el oído el cual juega un papel de primera importancia en la transmisión de la tradición oral, pero además, el hombre andino “escucha” la tierra, el paisaje y el cielo y “siente” la realidad en su



corazón, por lo tanto la racionalidad cognositiva no es teórica, sinó mas bien emocional-afectiva. El hombre andino, más que conocer la realidad, la siente.

5.1.5.2. LA CIENCIA ANDINA

La racionalidad andina no tiene una concepción racionalista o empirista de las ciencias en el sentido convencional de occidente. Considera que la ciencia es el saber, la sabiduría colectiva acumulada y transmitida a través de las generaciones, en forma oral y actitudinal (el saber hacer), mediante narraciones, cuentos rituales, celebración de cultos y costumbres; es un saber que no es resultado de un esfuerzo intelectual sinó, el producto de una experiencia vivida, amplia y metasensitiva. Un yachayniyoq o un yatiri, es una persona experimentada, un sabio en un sentido vivencial.

5.1.5.3. LA LÓGICA ANDINA

La lógica andina corresponde a la relacionalidad del todo. Se trata de principios lógicos o axiomas fundamentales expresados en un sentido muy distinto del occidental. Definidos de manera sintética, los principios de la lógica andina y siempre de acuerdo a la sistematización de Estermann, son cuatro: el principio de relacionalidad, el principio de correspondencia, el principio de complementariedad y el principio de reciprosidad. Estos principios, establecen lo siguiente:



1. EL PRINCIPIO DE RELACIONALIDAD

La relacionalidad del todo es la característica fundamental (*arjé*) de la racionalidad andina y se expresa en el principio de relacionalidad o principio holístico. Este principio afirma que todo está de una u otra manera relacionado, vinculado o conectado, con todo. El todo de la relacionalidad no es una totalidad analítica sino un todo explícito y concreto de la realidad. La relacionalidad andina está lejos de ser únicamente lógica, inferencial u ontológica. Se trata de una relacionalidad que implica una gran variedad de formas no lógicas tales como la reciprocidad, complementariedad y correspondencia en los aspectos afectivos, ecológicos, éticos, estéticos y productivos. La filosofía andina, rechaza tanto la inteligibilidad total de la realidad como la intelectualidad total del ser humano

2. EL PRINCIPIO DE CORRESPONDENCIA

La correspondencia es el primer principio derivado de la relacionalidad del todo y dice que los distintos aspectos o campos de la realidad se corresponden de una manera armoniosa. Este principio incluye nexos relacionales de tipo cualitativo, simbólico, celebrativo, ritual y afectivo. Se manifiesta a todo nivel y en todas las categorías, describe el tipo de relación que existe entre el macro y el microcosmos. De acuerdo con este principio, el hanaq pacha corresponde a la realidad terrenal o kay pacha y hasta a los espacios infraterrenales o ukhu pacha. También existe correspondencia entre lo cósmico y lo humano, entre lo humano y



no-humano, entre lo orgánico y lo inorgánico, entre la vida y la muerte, lo bueno y lo malo, lo divino y lo humano, etc.

3. PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD

Este principio dice que lo particular es una parte necesaria y complementaria de otra parte con la que se integra para formar una entidad completa o complementada

Así como para la filosofía china la complementación oposicional se realiza mediante la meditación y la mística, para la filosofía andina las posiciones complementarias llegan realmente a complementarse o integrarse a través de un ritual celebrativo, mediante un proceso pragmático de integración simbólica.

El principio de complementariedad se manifiesta a todo nivel y en todos los ámbitos de la vida, tanto en las dimensiones cósmicas, antropológicas como éticas y sociales. El ideal andino no es uno de los extremos, uno de los dos opuestos, sinó, más bien, la integración armoniosa de los dos. Algunas contraposiciones son, por ejemplo, el cielo y la tierra, el sol y la luna, el día y la noche, el bien y el mal, lo masculino y lo femenino.

4. PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD

El principio de reciprocidad es la expresión pragmática y ética de otro principio, el principio de correspondencia. Según el principio de reciprocidad, el esfuerzo de una persona puesto en una acción será recompensado por un esfuerzo de la misma magnitud . Se trata de una justicia metaética de intercambio de bienes, sentimientos, personas y hasta valores religiosos. Por el principio de



reciprocidad, a cada acto corresponde, como contribución complementaria, un acto recíproco. Este principio rige en las interrelaciones humanas, entre personas o grupos pero también en todo tipo de interacción: entre humanos, entre un ser humano y la naturaleza ó entre un ser humano y lo divino. Tiene validez universal y nos muestra que la ética no está limitada a los seres humanos sinó que tiene dimensiones cósmicas.

Es importante señalar que la reciprocidad andina no corresponde a una relación libre y voluntaria sinó, que se trata de un deber cósmico, obligatorio, que refleja el orden universal de las cosas y del que el ser humano sólo forma parte.

Una relación unilateral en la que sólo una parte da y la otra parte únicamente recibe, no es imaginable ni posible para el hombre andino. Pueda que temporalmente se presente un caso de éstos, pero sólo será temporal y por corto tiempo pues la justicia cósmica y la armonía de la complementariedad exigirán que tarde o temprano este desequilibrio será equilibrado por la acción recíproca.

Al igual que todos los principios lógico-andinos, el principio de reciprocidad tiene vigencia en todos los campos de la vida.

5.1.5.4. EL CULTO A LA PACHAMAMA

Primero definiremos que se entiende por Pachamama. El término esta conformado de dos vocablos pacha y mama. La común interpretación es que quiere decir madre Tierra; sin embargo el término Pacha tiene un significado filosófico mucho más profundo y es Estermann quien,



en nuestra opinión, da la definición más elocuente de lo que significa este vocablo (Estermann, 2018). Dice que Pacha significa el universo ordenado en categorías espacio-temporales pero, no solo como algo físico y astronómico, Pacha es lo que es, el todo existente en el universo, la realidad que incluye al hombre. Es una expresión que va más allá de la división entre lo visible y lo invisible, lo material y lo inmaterial, lo terrenal y lo celestial, lo profano y lo sagrado, lo exterior y lo interior. Contiene como significado tanto la temporalidad como la espacialidad. De una u otra manera, todo lo que existe está en el tiempo y ocupa un lugar en el espacio y esto rige, inclusive para los entes espirituales (espíritus, almas, Dios). Pacha es la base común de los distintos estratos de la realidad que para el hombre (runa/haqe) tiene tres aspectos Hanaq/alax pacha, kay/aka pacha y uray (ukhu)/manqha pacha (los términos luego de la oblicua son la acepción aymara del término). Sin embargo no se trata de mundos o estratos distintos, sino de aspectos o espacios de una misma realidad interrelacionada. El término pacha, pues, representa la relacionalidad que es la característica fundamental de la racionalidad andina y que representa la relación entre el todo: el tiempo, el espacio, el orden y la estratificación. Es el cosmos interrelacionado o la relacionalidad cósmica.

Con respecto a la tierra, el hombre andino concibe tres expresiones diferentes: la tierra como planeta es kay pacha/aka pacha (este mundo). La tierra, como materia inorgánica, en quechua se dice allpa y en aymara se emplea el término uraki u oraqe. Cuando se trata de



la tierra como base de la vida, en ambas lenguas se usa la expresión Pachamama (madre tierra) o simplemente pacha.

En cuanto al culto a la Pachamama, no nos referimos a los rituales que se practicaron y se practican aún hoy en nuestros días, sino al convencimiento, a la convicción, que el hombre andino-Inka tenía de preservar la naturaleza. Mientras que para la concepción occidental, la naturaleza es únicamente un medio de producción, un concepto puramente económico, un objeto de explotación ilimitado y de manipulación genética e informática, donde todo es cuantificable y monetarizable (sobre todo dentro de la ideología del neoliberalismo), el hombre andino no tiene oposición con la naturaleza, no la considera un adversario al que hay que vencer, ni siquiera interpone instrumento alguno entre él y la naturaleza, la chakitaklla es, mas bien, una prolongación de su pie. Su relación con la naturaleza es vital, ritual, casi mágica. La Pachamama cumple en cierto sentido una función simbólica similar a la coca k'intu: relaciona los tres estratos del universo a través de su fecundidad. La Pachamama vive, es un ser vivo orgánico que tiene sed y sabe enojarse y, en cierta forma, el ser humano es su criatura a la que debe amamantar. El hombre andino-Inka no es "productor", es agricultor, es un cuidante (arariwa) de la tierra, es su socio natural. El ser humano no es distinto de los otros seres vivos, también los animales y las plantas son "animados" y merecen, al igual que la Pachamama, respeto y un tratamiento justo de acuerdo al lugar que ocupan en el orden cósmico. El ser humano debe saber escuchar para descubrir la estructura simbólica, el



misterio de la vida, el ordenamiento cósmico. Debe escuchar también, para obedecer, para dar una respuesta adecuada y correlativa a través de sus actitudes y comportamientos; el ser humano es pues escuchador/obediente de la pacha, la estructura relacional cósmica subyacente. Si el hombre no escucha y, por el contrario, modifica la naturaleza a su gusto, la reacción correlativa trae como consecuencia un trastorno: el cambio del clima, sequías, inundaciones y desastres y es que el ser humano está ligado a todos los fenómenos naturales porque forma parte de ellos. La forma mas estricta de observación, en el sentido de cuidar, ayudar y co-crear entre el ser humano y la naturaleza, se da con el respeto a la Pachamama.

El hombre de los Andes está en permanente conversación o diálogo con la naturaleza, le pide permiso antes de arar la tierra y le agradece con un “despacho” (ofrenda) por la cosecha. Cuando bebe chicha, primero debe asperjar algo del líquido sobre la tierra (tínkay/ch’allaña) porque ésta tiene sed.

Estos principios y su observancia son garantía para la continuidad de la vida en particular y del orden cósmico en general. Esta observancia tiene un carácter ceremonial y celebrativo.

5.1.5.5. EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA DE RIEGO.

A continuación se presenta una evaluación retrospectiva del sistema de riego Inka de Tipón, haciendo uso de la técnica actual conocida como la Matriz de Leopold que es utilizada, entre otros usuarios, por el Servicio Geológico de los Estados Unidos. La matriz de Leopold



considera la cuantificación de los impactos producidos por las diferentes acciones llevadas a cabo en el desarrollo de un proyecto, cuantificando la **magnitud** del impacto con un signo (+) o (-) según el impacto sea positivo o negativo y la **importancia** de las consecuencias del impacto. En ambos casos se emplea una escala de 1 a 10, donde 10 representa los valores más altos. La evaluación hecha en el sistema de riego de Tipón, considera los impactos producidos por los trabajos o acciones en tres dimensiones ecológicas: el aire, el agua y el suelo y en la dimensión paisajística. Los resultados de la aplicación de la matriz de Leopold nos muestran un impacto ambiental positivo en la construcción del sistema de riego de Tipón (+6/171). Sin embargo, siendo pequeño el valor positivo del impacto encontrado, podemos pensar que no es un valor definitivo, aunque si suficiente para mostrarnos que el impacto ambiental del sistema de riego Inka de Tipón, en términos generales, fue positivo.



Tabla 2 MATRIZ DE LEOPOLD

Acciones del Proyecto Impactos Ambientales		Construcción de la bocatoma superficial	Construcción de la Captación subterránea	Construcción del canal aductor	Construcción de los canales de distribución	Construcción de accesos y caminos	Construcción de Obras de Arte	Construcción de terrazas	Eliminación de desmonte	Promedio aritmético	Total C.A.
											MI
1	Aire										
1.1	Generación de polvo	-1\1	-1\1	-1\1	-1\1	-2\2	-1\1	-5\7	-2\2	-48	-14\16
1.2	Nivel de ruido		-1\2	-2\4	-2\4	-2\3	-2\3	-3\5	-1\1	-46	-13\22
2	Agua										
2.1	Alteración de las zonas de recarga hídrica		+8\8							+64	+8\8
2.2	Polución	-1\2	-2\2							-6	-3\4
2.3	Contaminación por escombros	-2\2	-1\2							-6	-3\4
2.4	Vertimientos diversos	-1\1	-1\1				-1\1			-3	-3\3
3	Suelo										
3.1	Alteración de la morfología		-1\2	-1\1	+2\3	+1\2	+1\1	+8\10		+86	+10\19
3.2	Modificación de la calidad de los suelos			-1\4	-1\4	+2\2		+10\10		+96	+10\20
3.3	Erosión		+5\8	+2\2		-1\2		+10\10		+142	+16\22
3.4	Desestabilización de taludes		+2\2	-3\5		-1\2	-1\1	+10\10		+86	+7\20
3.5	Acumulación de residuos y desechos		-1\1	-2\3	-1\2	-2\2	-1\2	-5\5	-3\3	-49	-15\18
4	Paisaje										
4.1	Degradación del paisaje			-1\2	-1\1	-1\1	+1\1	+8\10		+77	+6\15
TOTAL											+6\171

5.2. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN EL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN

5.2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN

UBICACIÓN DE LAS CAPTACIONES

El sistema de riego Inka de Tipón cuenta con dos sistemas de captación:

Un sistema de captación de aguas superficiales ubicado en un pequeño remanso del río Pukara, a la altura de la cota 3690 msnm, en una zona de fuerte pendiente; y un sistema de captación de aguas subterráneas ubicado en la parte inferior de la ladera del cerro Cruzmoqo que emerge



en la terraza número 12, hacia el lado noreste del conjunto de terrazas, a una altitud de 3450 msnm. Las terrazas se identifican ordinalmente considerando como Nro 1 a la terraza más baja.

CAUDALES DISPONIBLES

Como se detalla en el ítem 4.1.2 sobre la oferta hídrica, los caudales disponibles para el sistema de riego Inka de Tipón son de 21.5 lts/seg en la captación del río Pukara y de 15 lts/seg en la fuente de aguas subterráneas ubicada en la terraza Nro 12 del sistema de riego.

TIPO DE LAS BOCATOMAS Y SU GEOMETRÍA

El sistema de captación de aguas superficiales ubicado en el río Pukara, de acuerdo con lo especificado por Wright, tiene lugar directamente desde el río, sin ninguna construcción adicional, en un derrumbe de rocas que tiende a impedir el paso de la corriente. El punto de desvío, dice, podría confundirse con un manantial (Wright, Kenneth, 2008). En nuestra opinión, el criterio de Wright no es del todo realista pues, el derrumbe de rocas al que hace referencia, no es necesariamente, el mismo que sucedió al momento de construirse el sistema de riego, ni la disposición geométrica de las rocas ocupan siempre el mismo lugar a pesar de los siglos. Si se tiene en cuenta que la fuerte pendiente del río ocasiona una geodinámica intensa, es muy probable que se haya producido más de un derrumbe en el transcurso de los últimos 500 años, de manera que la forma de la captación actual, debe ser muy distinta de la situación original. Consideramos, más bien, que el sistema de captación del río Pukara debió tener las características de las captaciones que los campesinos acostumbran construir hasta nuestros días en ríos similares, es decir, ríos



pequeños, con lechos de roca y fuertes pendientes, que son numerosos en los Andes, debido a las características fisiográficas de la sierra. Así, la captación de Tipón debió ser hecha por medio de una derivación temporal, construida a la manera de un espigón de piedras y tepes o “ch’ámpas”, que hace las veces de barraje, construido únicamente para su funcionamiento en los períodos de estiaje o cuando fuera necesario (por ejemplo por necesidades ceremoniales). De esta manera, la captación del agua sólo tenía lugar en los momentos y épocas necesarios, sin alterar en nada las características del río, sin modificar su curso ni alterar su geodinámica natural, puesto que, después de usarlas podían ser desmontadas manualmente o simplemente dejar que el propio río se encargue de desmontarlas. Esta solución puede parecer precaria pero en realidad es la más ingeniosa porque requiere de un mínimo esfuerzo y no modifica ni perturba en absoluto la dinámica del río, hecho que adquiere una importancia categórica en el respeto a la naturaleza.

Las captaciones fijas a base de concreto que, en la actualidad son de uso preferente, siempre presentan inconvenientes, debido al arrastre sólido que se observa en todos los ríos y que azolvan las captaciones haciendo necesario un mantenimiento permanente, por lo menos una vez al año, situación que resulta tanto más onerosa que la simple y sencilla construcción de una derivación temporal que en nada afecta el comportamiento natural del río.

Por su parte, el sistema de captación de aguas subterráneas, tiene características portentosas, Kenneth Wright dice que al evaluar las obras de captación del manantial resulta evidente que los ingenieros Inkas



conocían los principios del flujo subterráneo. La evaluación que efectuó el año 2000 le permitió verificar en el manantial, la existencia de ocho conductos interiores de recolección que concentran el agua en el punto de salida, se trata de conductos de piedra que penetran la ladera, los cuales fueron examinados en cuanto a su dirección y tamaño relativo (Wright, Kenneth, 2008). La ingeniería moderna conceptualiza un criterio similar para concentrar las aguas subterráneas, solamente que en lugar de los conductos de piedra, emplea tubería cribada, aunque ningún material artificial actual sería capaz de desafiar el paso de cientos de años de vida útil, como lo hace el sistema Inka de Tipón cuyo funcionamiento puede ser verificado en la actualidad, sin duda, con la misma eficiencia con la que fueron construidos hace más de 500 años por los ingenieros de la cultura Inka.

Superficialmente, la captación subterránea presenta una estructura rectangular construida a base de piedras, justamente por encima del punto de recolección de las aguas subterráneas, desde la cual alimenta un complejo sistema de canales y fuentes de carácter sacro, ornamental que constituye todo un simbolismo hierático de la cosmovisión andina, cuya interpretación hemos intentado en el ítem 4.1.3 (C) del presente trabajo.

EFICIENCIA DE CAPTACIÓN

La eficiencia de captación (E_{cap}) es la razón entre el caudal realmente captado (Q_r) y el caudal proyectado o previsto por captar en la fuente (Q_{py}), es decir:

$$E_{capt} = \frac{Q_r}{Q_{py}}$$



En el presente caso, el caudal previsto a ser captado (Q_{py}) corresponde a la demanda hídrica del sistema, la cual, de acuerdo con lo establecido en el ítem 5.1.2, es de 2.72 lts/seg para atender las necesidades de riego de las terrazas. Por su parte el caudal realmente captado durante la puesta en operación del sistema de riego (Q_r), no puede conocerse toda vez que la forma de estimar el flujo volumétrico o caudal, es un concepto actual, no del pasado. Sin embargo si tenemos en cuenta que el caudal ofertado, disponible en la captación de aguas subterráneas es de 15 lts/seg, es decir más de 5 veces el caudal de la demanda hídrica, siempre existirá un volumen disponible para suplir cualquier deficiencia, podemos afirmar que, para el sistema de riego Inka de Tipón, la eficiencia de captación fue del cien por ciento.



Figura 4 La captación de aguas subterráneas



5.2.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

El sistema de canales de conducción del agua para irrigar las terrazas del sistema de riego Inka de Tipón, está conformado por dos sistemas de canales independientes: El canal proveniente de la captación del río Pukara, que en este trabajo identificamos como “canal aductor” y el sistema de canales principales provenientes del manantial, que son dos canales principales, ubicados a ambos lados del conjunto de terrazas. Conviene precisar, que el manantial o fuente de aguas subterráneas, sólo atiende las necesidades de riego de las terrazas 1 a la 11. Las terrazas 12 y 13, por encontrarse a un nivel superior respecto de la cota de captación, son atendidas por el sistema de canal aductor proveniente del río Pukara. El canal aductor tiene su recorrido, en gran parte, en la ladera empinada del cerro Cruzmocco, tramo que, al momento de la evaluación, (2020) se encontraba completamente colapsado por efecto de un deslizamiento que, literalmente, borró todo el tramo del canal aductor en esta parte; de manera que la evaluación que sigue, únicamente está referida al sistema de canales principales provenientes de la captación de aguas subterráneas.

TRAZO

El sistema de canales principales que sirven a las terrazas del sistema de riego Inka de Tipón, está conformado por dos canales que, de manera independiente, recorren las terrazas, o zona de cultivo, por ambas márgenes, derecha e izquierda del conjunto de terrazas, siguiendo una orientación noreste a suroeste. Aunque las características de los canales principales no difieren de los canales de distribución, por el



emplazamiento y recorrido que tienen se puede distinguir su importancia dentro del sistema de riego. Ambos canales se inician en la fuente rectangular ubicada al final del sistema de captación ornamental de aguas subterráneas, en la terraza Nro 10

El canal de la margen derecha recorre perimetralmente, por la parte alta de la terraza Nro 10 hasta la altura del muro de contención, en el encuentro con la terraza Nro 9, a partir de donde continúa por la parte lateral superior, por encima de las terrazas laterales pequeñas hasta el encuentro de las terrazas 4 y 5 en donde el canal desciende hasta quedar muy próximo a las terrazas continuando hasta el final de su recorrido.

El canal de la margen izquierda también se inicia en la fuente rectangular localizada al final del sistema ornamental de captación y sigue su recorrido por la parte lateral alta de las terrazas 10, 9 y 8, descendiendo a la altura del encuentro de las terrazas 8 y 7, para alimentar a la denominada fuente ceremonial y continuar su recorrido hasta el encuentro de las terrazas 6 y 5 por donde desciende a través de un sistema de caídas aledañas a una escalera ornamental de acceso a las terrazas, desde donde continúa su recorrido en el borde lateral izquierdo de las terrazas, hasta el final del conjunto de plataformas escalonadas, desde donde inicia el drenaje del sistema, evacuando las aguas residuales y excedentes.

GEOMETRÍA DE LOS CANALES

Los canales principales presentan una sección transversal rectangular, de 24 cm de ancho por 18.2 cm de altura, en promedio. La geometría que presentan estos canales no es completamente uniforme lo cual es explicable si se tiene en cuenta que los Inkas no tuvieron un patrón



estándar o unidad de medida longitudinal, efectuándose las mediciones en base a proporciones con alguna parte del cuerpo: la longitud del pie, la palma de la mano, etc., tal como se detalla en el ítem 4.1.1 de este mismo trabajo

REVESTIMIENTO

Los canales principales son, en su totalidad, revestidos con piedra canteada, artística y técnicamente acomodada, de manera que la “cara” de la piedra, al unirse con otras unidades, conforma una superficie suficientemente plana como para permitir un flujo de agua uniforme, evitando que se produzcan vórtices o alteraciones indeseables en el flujo. Las piedras o unidades de albañilería están acomodadas de tal manera, que las juntas guardan el mínimo espacio posible entre piedra y piedra haciendo juntas bastante delgadas que, seguramente, fueron debidamente impermeabilizadas en su oportunidad. Aunque es poco probable encontrar material impermeabilizante original de las juntas, éstas debieron ser debidamente selladas, alcanzándose la estabilización por el paso del tiempo, entendiéndose como tal, el proceso físico por el cual los poros del suelo subyacente se van llenando poco a poco con el paso del tiempo hasta que la infiltración se reduce a un valor mínimo mas o menos estable.

OBRAS DE ARTE

Las obras de arte que tienen que ver directamente con la operación del sistema hidráulico estudiado en el sistema de riego Inka de Tipón, son: Una contracción brusca en la fuente de captación, diversos saltos o caídas y la denominada fuente ceremonial ó fuente de la Ñusta. De manera



especial, debido a su importancia, también haremos referencia a la rápida (conocida por algunos como acueducto), obra de arte que corresponde al sistema del canal aductor cuya fuente de captación es el río Pukara.

1. CONTRACCIÓN BRUSCA EN LA FUENTE DE CAPTACIÓN

Charles Ortloff, Investigador Asociado a la Universidad de Chicago, en un artículo científico publicado por Latin American Antiquity, un Journal de Arqueología publicado en los Estados Unidos (Ortloff, Tipón: Perspectiva de la práctica de ingeniería hidráulica Inka, 2019), sugiere que los ingenieros Inkas conocían los principios de la mecánica de los fluidos de una manera práctica. Para definir las características del flujo en un canal abierto, en la ingeniería actual, se hace uso de un parámetro adimensional denominado Número de Froude (Fr), que es la relación que existe entre la velocidad de un flujo y la velocidad de la onda gravitacional y está dado por la expresión $Fr = v/\sqrt{g \cdot y}$ donde “v” es la velocidad media del flujo, “y” es la profundidad del agua en el canal y “g” es la aceleración gravitacional. El Número de Froude permite distinguir tres tipos de flujos: el flujo supercrítico ($Fr > 1$) que es un flujo rápido o de alta velocidad; el flujo subcrítico ($Fr < 1$) que es un flujo lento o de baja velocidad y el flujo crítico ($Fr = 1$) que es el límite entre los dos regímenes anteriores y que se caracteriza por presentar un flujo oscilante, indefinido, modificando su comportamiento de manera oscilatoria entre uno y otro régimen de flujo. Una forma práctica para observar la manifestación física de estos tipos de flujo puede visualizarse perturbando el flujo, por ejemplo, lanzándole una piedra. La onda ocasionada por el impacto de la piedra en el fluido en



movimiento (perturbación), viajará hacia aguas arriba si el flujo es subcrítico (lento); mientras que si el flujo es supercrítico (rápido), la perturbación viajará únicamente hacia aguas abajo, es decir, no ocasionará ninguna perturbación hacia arriba del lugar del impacto. Este simple experimento permite distinguir los tipos de flujo en un canal y aprovechar sus efectos. Según Ortloff, fue de esta manera cómo los ingenieros hidráulicos del incanato podían distinguir los tipos de flujo y aprovechar sus efectos. Este conocimiento se pone de manifiesto, según Ortloff, en la contracción brusca, a la salida de la captación subterránea, en donde se ha construido un canal mas angosto (contraído). Al evaluar los regímenes de flujo en la captación subterránea y en el canal de salida, Ortloff midió que la relación de los anchos del canal de salida y el de la fuente de captación, es de 0.44 y estimó que los números de Froude son de 0.23 en la fuente (flujo subcrítico o lento) y de 1.14 en el canal de salida (flujo supercrítico o rápido). Este diseño de la ingeniería Inka es la clave para producir el suministro de agua constante y estable en el área de la cascada. Los ingenieros Inkas, dice, evitaron sabiamente las inestabilidades del flujo que influyen en el suministro uniforme de agua a la cascada por medio de un diseño con un flujo supercrítico (rápido) en el canal. De esta manera, los ingenieros hidráulicos Inkas querían limitar las perturbaciones y las corrientes dentro del depósito para ayudar a procurar flujos iguales y estables en dirección hacia los cuatro canales de la cascada. Si los ingenieros Inkas hubieran elegido un diseño de canal de mayor ancho, se hubiera producido un flujo subcrítico (lento)



que, a su vez, hubiera dado lugar a perturbaciones inestables del suministro de agua las que se hubieran propagado hacia aguas arriba y aguas abajo del canal, ocasionando diferentes tasas de flujo en los cuatro canales de suministro de la cascada. Asimismo, una perturbación asociada a flujos subcríticos en canales más anchos, ocasionaría una disminución repentina de la velocidad del agua que se percibiría como un obstáculo e interactuaría con el flujo entrante del manantial en el canal ancho. Este diseño, conduciría a la exhibición de una cascada errática y no estética. Los ingenieros Inkas entendieron estas características del flujo y las incorporaron en su diseño final que, por lo demás, es absolutamente compatible con la práctica de la ingeniería hidráulica moderna.



Figura 5 Contracción brusca a la salida de la fuente de aguas subterráneas



2. SALTOS O CAÍDAS

Para que un canal pase de un nivel más alto a un nivel más bajo de manera abrupta, vertical o casi vertical, como es el caso de los canales que deben continuar su recorrido salvando los muros de contención de las plataformas o terrazas agrícolas de Tipón, los canales deben desarrollar un salto o caída, un canal de pendiente casi vertical. En el caso de Tipón las cajas de canal de los saltos son de sección rectangular y de una pendiente 1:10 (H:V) que corresponde a la inclinación de los muros de contención de las terrazas. El canal del salto queda embebido completamente dentro del muro de contención. Estos saltos o caídas, además de conducir el agua desde una elevación más alta a una más baja, tienen el propósito de disipar la energía generada al recorrer la diferencia de niveles. En el sistema de riego Inka de Tipón, llama la atención el hecho de que la lámina vertiente no se desprenda del lecho del canal del salto, como sucede con cualquier chorro de esas características. Cuando un chorro descarga al aire libre con velocidad inicial horizontal, la lámina vertiente sigue una trayectoria parabólica, desprendiéndose inmediatamente de su lecho, de acuerdo con las leyes físicas que gobiernan el llamado movimiento de proyectiles. La lámina vertiente de las caídas de Tipón no se desprende del lecho del canal y, en todos los casos, en la parte baja, impacta contra una roca alabeada que permite disipar casi toda la energía, produciendo un mínimo insignificante de salpicaduras, para que el chorro, finalmente, disipe cualquier energía residual, en un pozo de disipación bastante pequeño



para las características hidráulicas del flujo volumétrico o caudal que conducen.

En un estudio anterior (Arangoitia, 1986), se estableció que la longitud vertical de desprendimiento de la vena líquida (L_d), está dado por la ecuación $L_d = 2v_o^2 S^2 / g$, es decir, que el desprendimiento de la lámina vertiente está en proporción directa con el cuadrado de la velocidad inicial del chorro. Una vez más, los ingenieros Inkas demostraron tener conocimiento práctico de la hidráulica, al controlar el desprendimiento de la vena líquida en las caídas. Para una mejor ilustración, señalaremos que en la ingeniería moderna, se distinguen tres partes sucesivas en un canal de fuerte pendiente: Primero, una sección de control al inicio de la estructura; luego, la caída propiamente dicha y, finalmente, una estructura de disipación de la energía. Veamos que sucede en las estructuras Inkas construidas en Tipón: La sección de control, antes de que se produzca el salto propiamente dicho, está conformada por una ligera contrapendiente al final del tramo de aproximación, con una longitud muy corta que depende de la velocidad de llegada (velocidad de aproximación), que no es igual en todos los saltos o caídas, aunque se puede estimar en una longitud de unos 60 cm en promedio. Esta contrapendiente o pendiente adversa, es bastante suave, no ocasiona un contraflujo pero es suficiente para disminuir la velocidad de salida de manera eficaz; es el elemento fundamental para que la velocidad de salida del chorro, sea mínima y no se produzca el desprendimiento de la vena fluida. Antes de alcanzar la sección de control, ya la velocidad del flujo va disminuyendo en el



canal aguas arriba, también en tramos bastante cortos, de unos 70 cm aproximadamente, sin duda, controlando adecuadamente la pendiente del canal. Después de la sección de control el chorro cae sin desprenderse ni desbordar el tramo de caída propiamente dicho hasta alcanzar el sistema de disipación de la energía compuesto por una piedra a la que impacta el chorro y que, por el impacto, disipa casi toda la energía, quedando una fracción residual de energía que es disipada, en definitiva, en una poza de disipación que en casi todo los casos es de aproximadamente 0.80 m x 0.80 m de sección promedio y unos 0.20 m de profundidad, desde donde sale un flujo completamente tranquilo, para continuar su recorrido sin perturbación alguna.

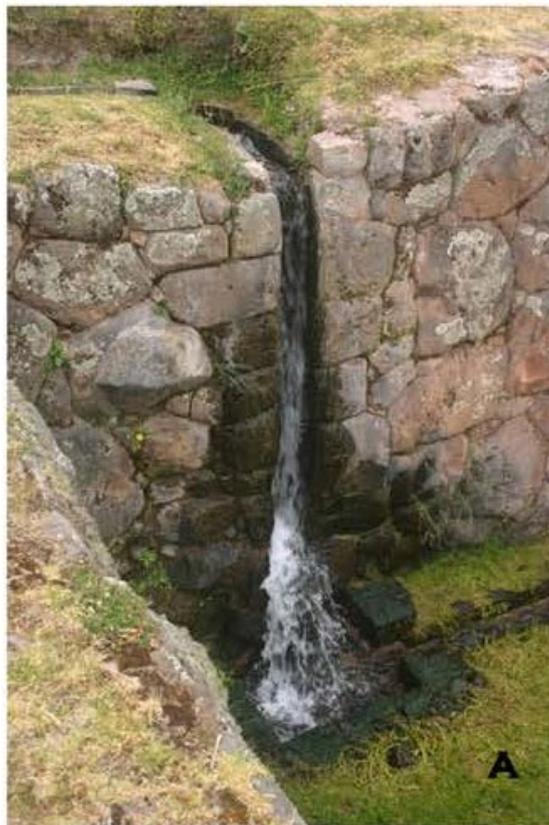


Figura 6 Un salto o caída



3. LA FUENTE CEREMONIAL

La fuente ceremonial, ubicada próxima al muro de contención o de soporte de la terraza Nro 8, es conocida también como fuente de la Ñusta, en el entendido de que tenía un propósito ritual ceremonial. Según Villena Vargas, se trataba de un templo, de la wak'a de la dualidad o Yanantin (los opuestos complementarios) en donde tenía lugar una suerte de ayuntamiento sacro en un baño purificador y generador de fértil y fecundadora fuerza (Villena, 2002). Esta interpretación del simbolismo de esta construcción de Tipón, no parece del todo convincente toda vez que los rituales siempre tenían lugar en una parte alta, más aún si, como en el caso de Tipón, existía todo un centro ceremonial adjunto; pero además hay otros dos aspectos que hacen cuestionable la interpretación de Villena, primero, que en las ceremonias rituales de pago a la tierra (hasta el presente) únicamente intervenían varones y en segundo lugar la concepción filosófica hanan de la cosmovisión andina que, por supuesto, encierra conceptualmente todo lo anterior (lo alto y masculino de los rituales). Al margen de lo dicho precedentemente, la explicación dada por Sierra Palomino (en comunicación directa) parece bastante razonable. De acuerdo con este punto de vista, esta fuente sería en realidad un aforador, es decir una estructura para medir el caudal que está siendo empleado en el sistema o en parte de él (toda vez que no está ubicado en el inicio del sistema de canales). Su funcionamiento y operación demandaría una simple inspección visual del lugar dónde impacta el chorro al llegar a la poza de disipación instalada en el suelo, es decir,



midiendo o estimando la distancia horizontal que hay entre el punto de salida del chorro y su punto de impacto en la superficie libre del agua, en la poza de disipación instalada al pie. Si el caudal es grande, el chorro caerá lejos de su punto de salida; en cambio, si el caudal es pequeño, el chorro impactará a una distancia horizontal más próxima. Esto se debe al referido anteriormente, fenómeno de caída libre de los cuerpos que siguen una trayectoria parabólica por efecto de su velocidad inicial y al fenómeno de conservación de masa que establece que el caudal es proporcional a la velocidad (La ley de conservación de masa, en la mecánica de los fluidos, toma el nombre de ecuación de continuidad y establece que $Q=A.v$, donde Q es el caudal, A el área de la sección transversal y v la velocidad media del flujo). Obviamente la “lectura” de los caudales no se efectuaría en las unidades convencionales actuales, debió ser más cualitativa que cuantitativa, por ejemplo un caudal pequeño pudo haber sido referido como la disponibilidad de poca agua (en quechua: pisi unu kashian), un caudal considerable, como bastante agua (askha unu kashian) y un caudal medio, como la disponibilidad de una cantidad de agua mediana (kuskan unu kashian). Esta interpretación nos parece más realista y mucho más próxima a la ingeniosa concepción del sistema de riego Inka de Tipón



Figura 7 La denominada fuente ceremonial

4. LA RÁPIDA EN EL CANAL ADUCTOR

En el canal proveniente de la captación del río Pukara, que en este trabajo identificamos como el canal aductor, en el tramo próximo anterior al Intihuatana, se identifica una rápida a la que algunos autores llaman “acueducto”. El término rápida consideramos que es más apropiado porque se refiere a un canal de fuerte pendiente y es el término comúnmente empleado en nuestro medio para referirse a este tipo de estructuras, reservándose el término acueducto, para el canal que salva un claro (canal puente). Téngase presente el acueducto romano cuyo propósito fue, efectivamente, salvar un enorme claro.

La rápida de Tipón tiene 60 metros de longitud y alcanza una pendiente promedio del 30%. Como se dijo anteriormente (al referirnos



a los saltos o caídas), en los canales de fuerte pendiente se identifican tres partes: Una sección de control al inicio de la rápida, la rápida propiamente dicha y una estructura de disipación de energía al pie de la rápida.

La sección de control tiene el propósito de mantener estable el régimen del flujo aguas arriba de la rápida. En las obras modernas, la sección de control está conformada por una pequeña sobreelevación prismática en el lecho del canal, justamente antes de la rápida propiamente dicha. La sección de control del sistema de riego de Tipón está conformada, más bien, por una curva vertical cóncava hacia abajo, que permite una gradual modificación de la pendiente, desde la pendiente suave del canal, hasta alcanzar la pendiente fuerte de la rápida y tiene el propósito de evitar el desprendimiento de la lámina vertiente que ocurriría si el cambio de pendiente fuera abrupto, en cuyo caso se produciría la erosión del lecho del canal, debido a la subpresión que genera el vacío que se produce entre el lecho del canal y la lámina vertiente.

La rápida propiamente dicha está constituida por el tramo de fuerte pendiente. Ortloff, a partir de las mediciones hechas por Wright (Ortloff, Tipón: Perspectiva de la práctica de ingeniería hidráulica Inka, 2019), dice que el tramo de pendiente fuerte no tiene una inclinación uniforme, sino que varía a lo largo de su recorrido, alcanzando una pendiente promedio del 30% (16° de inclinación respecto de la horizontal). La sección transversal de la rápida es rectangular y está revestida con piedra canteada, con un ancho de 20 a 24 centímetros



y una altura de 25 a 30 centímetros. El flujo en la rápida es supercrítico, es decir es un flujo rápido, con un número de Froude superior a uno ($Fr > 1$). El trazo o trazado de la rápida, no es completamente rectilíneo sino, presenta sinuosidades que parecieran ser resultado del deterioro del canal por el paso del tiempo; sin embargo, cabe también la posibilidad de que estas sinuosidades hayan sido intencionalmente ejecutadas con el propósito de ir disipando la energía en la rápida misma, a lo largo de su recorrido. Las sinuosidades observadas no son grandes, son más bien, pequeñas y zigzagueantes, casi imperceptibles, para evitar que se produzcan desbordes. La fuerte pendiente genera grandes velocidades en el flujo y si los cambios de dirección fueran considerables, la fuerza centrífuga ocasionada, provocaría desbordes en cada sinuosidad o cambio de dirección.

La estructura de disipación de energía, al final de la rápida, está conformada por una curva vertical cóncava hacia arriba que enlaza la pendiente fuerte de la rápida con la pendiente suave del canal de salida que tiene una pendiente del 3% (1.7° de inclinación). Al alcanzar el tramo de pendiente suave, la rápida ocasiona la formación de un resalto hidráulico. El resalto hidráulico es un fenómeno que se presenta en el flujo de canales y que consiste en que, bajo determinadas condiciones (por ejemplo, el cambio de pendiente del canal, de una pendiente fuerte a una pendiente suave), un flujo rápido se transforma en flujo lento, por medio del crecimiento drástico de la profundidad del flujo. En la rápida de Tipón, se aprovechaba del resalto que se produce al pie de la rápida, para determinar hasta que caudal



era conveniente abastecer de agua al centro ceremonial, que es hacia donde conduce el canal aductor. El caudal máximo permisible era aquel que, después del crecimiento de la profundidad del agua por efecto del resalto, no se produjera ningún desborde, de manera que el agua, quedara siempre dentro del canal. Wright luego de hacer una simulación con diferentes caudales (y consecuentemente diferentes profundidades del resalto) estimó que el máximo caudal que podría admitir la rápida era del orden de 120 lts/seg; aunque Ortloff corrige esta cifra a 60 lts/seg. (2.2 pies³/seg) como capacidad máxima de la rápida de Tipón (Ortloff, Tipón: Perspectiva de la práctica de ingeniería hidráulica Inka, 2019). Para evitar un ingreso mayor al necesario, el canal aductor, aguas arriba de la sección de control, es decir antes del inicio de la rápida, dispone de un canal de derivación controlado por una compuerta móvil, que debió ser una piedra plana que hacía las veces de compuerta graduable.



Figura 8 La rápida en el canal aductor



PÉRDIDAS EN LOS CANALES.

Las pérdidas del agua en los canales de los sistemas de riego, se deben principalmente a la evaporación y a la infiltración y tiene lugar en el proceso de conducción del agua, desde la fuente hasta el punto en que el agua es utilizada para regar. Las pérdidas en los canales del sistema, fueron estimadas haciendo uso de modelos teóricos que consideran las características más importantes de los canales en estudio. A continuación se presenta los resultados obtenidos al aplicar ocho modelos teóricos de pérdidas en los canales del sistema de riego Inka de Tipón que nos muestran un valor medio de 0.41 lts/seg. por kilómetro de canal, considerando dimensiones promedio de la sección rectangular del canal principal de 0.24 m de ancho de base, 0.10 m de profundidad y un coeficiente de permeabilidad de 10^{-3} m/s, que es un valor conservador asumido para el canal revestido con piedras, de Tipón.

Tabla 3 PÉRDIDAS EN LOS CANALES DEL SISTEMA SEGÚN LOS AUTORES INDICADOS

AUTOR	PÉRDIDA [lts/seg/km]
INGHAM	0.19
ETCHEVERRY	0.38
PAVLOVSKY	0.44
DAVIS-WILSON	0.46
KOSTIAKOV	0.48
MORITZ	0.58
VEDERNIKOV	0.44
UGINCHUS	0.28
PROMEDIO	0.41

Teniendo en consideración que la longitud total de los canales principales del sistema es de 710 metros de longitud total (350 m. en el canal derecho y 360 en el izquierdo) y que el caudal aforado es de 11.73 l/s, la pérdida



por infiltración en los canales principales del sistema de riego Inka de Tipón es del orden de 0.30 lts/seg. que equivale al 2.56% de pérdidas por conducción

EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN

La eficiencia de conducción (E_{cond}) es la relación entre el caudal que llega al extremo final de conducción (Q_{fc}) y el caudal que ingresa al inicio del canal de conducción (Q_{ic}). Considerando los valores porcentuales establecidos en el ítem anterior, obtenemos directamente que la eficiencia de conducción en los canales principales del sistema de riego Inka de Tipón es del orden del 97.4%

$$E_{cond} = \frac{Q_{fc}}{Q_{ic}} = \frac{(100 - 2.56)}{100}$$

$$E_{cond} = 97.4\%$$

5.2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

TRAZO

El sistema de distribución se refiere al conjunto de canales que, iniciando en un canal principal, conducen el agua hasta el nivel de la parcela. El trazo de estos canales en Tipón no es tan prolijo y categórico como el de los canales principales, es más bien algo difuso, aunque se puede distinguir un patrón general, caracterizado por estar orientados en forma paralela a los canales principales pero a un nivel mas bajo, a nivel de las



terrazas. Es visible, sin embargo, que en la cabecera del quinto terraplén, al pie del muro de contención de la sexta terraza, justamente a continuación de las escaleras ornamentales de acceso a los terraplenes, se haya construido un canal de derivación que atraviesa transversalmente toda la terraza 5, de extremo a extremo, para, luego de recorrer la terraza, unirse con el canal principal de la margen derecha. Teniendo en consideración la concepción dual de la cosmovisión andina, puede inferirse que este canal delimita las terrazas que están a la derecha y por encima en hanan patapatakuna y las que quedan a la izquierda y por debajo de él en urin patapatakuna.

GEOMETRÍA DE LOS CANALES

Al igual que los canales principales, los canales que componen el sistema de distribución, son de sección rectangular y tienen las mismas características geométricas de aquellos. En la ingeniería moderna, cuando los caudales son pequeños, los canales son diseñados con una sección mayor que la necesaria para conducir el caudal requerido, dando la impresión de estar sobredimensionados. Lo que ocurre en estos casos, es que las dimensiones de la caja del canal se diseñan para satisfacer requerimientos distintos a la capacidad de conducción del canal. Así el ancho del canal deberá ser lo suficientemente amplio como para permitir que una lampa pueda efectuar fácilmente las labores de limpieza, aunque el ancho requerido por razones hidráulicas sea mucho menor. Es evidente que este no fue el propósito de diseño de los ingenieros Inkas, pero es posible que un criterio similar al de una sección mínima haya prevalecido,



para que los canales de derivación tengan las mismas características geométricas que las de los canales principales.

REVESTIMIENTO

Los canales del sistema de derivación, al igual que los canales principales, se hallan revestidos en su totalidad. Los materiales y la manufactura de ambos tipos de canales, principales y secundarios, también son los mismos. Al observar esta situación en los canales de Tipón, resulta evidente que la clasificación en canales principales y canales de derivación o secundarios, es una distinción de la ingeniería moderna, no de la tecnología Inka que dio a todos los canales del sistema, el mismo tratamiento.

PÉRDIDAS EN LOS CANALES SECUNDARIOS

Debido a que el sistema no se encuentra en operación, pese a que los canales y las terrazas se encuentran actualmente operativos, no es posible efectuar mediciones que reclaman la operación misma del sistema, de manera que, teniendo únicamente en cuenta las características de similitud de los canales de derivación con los canales principales, las que fueron ampliamente descritas en los párrafos precedentes, podemos asumir razonablemente, sin incurrir en exageraciones o suposiciones incoherentes o forzadas, que la pérdida por infiltración en los canales de distribución o canales secundarios del sistema de riego Inka de Tipón es del orden del 2.56% tal como fue ampliamente fundamentado en el ítem referido a los canales principales.



EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN

Considerando los valores establecidos en el ítem anterior, y teniendo en cuenta que la eficiencia de distribución (E_{distr}) es la relación entre el caudal de entrega a la parcela ($Q_{entrega}$) y el caudal que sale del canal principal al inicio del sistema de distribución (Q_{inidis}), podemos estimar que la eficiencia de conducción en los canales de distribución del sistema de riego Inka de Tipón es del orden del 97.4%.

5.3. EFICIENCIA HÍDRICA DEL SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN

La eficiencia hídrica de un sistema de riego (E_{Hidr}), está dada por el producto de la eficiencia de captación, la eficiencia de conducción y la eficiencia del sistema de distribución. En nuestro caso, con los valores anteriormente determinados, tendríamos:

$$E_{Hidr} = E_{capt} \cdot E_{cond} \cdot E_{distr} = 1 \times 0.97 \times 0.97$$

$$E_{Hidr} = 0.941 = 94.1\%$$

Es decir que, de acuerdo con los valores de eficiencia considerados en los sistemas de captación, conducción y distribución, el sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó una eficiencia hídrica del orden del 94.1%.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La eficiencia de captación del sistema de riego Inka de Tipón corresponde a la captación de aguas subterráneas que abastece a las terrazas o andenes y ha sido estimada en un cien por ciento. Este valor se explica porque la oferta hídrica disponible de 15 lts/seg, es considerablemente superior a la demanda del riego que, en el mes más crítico, es de 120 mm de columna de agua, que representa un caudal de 2.72 lts/seg.
2. La eficiencia del sistema de conducción -que corresponde a los canales principales- fue estimada en 97.4%. La determinación de las pérdidas por infiltración fue evaluada empleando modelos teóricos que arrojaron unas pérdidas de 0.41 lts/seg/km que representan el 2.56% del caudal inicial.
3. La eficiencia del sistema de distribución, conformado por los canales de derivación o canales secundarios, por comparación con los canales del sistema de conducción, fue estimada en 97.4%.
4. La eficiencia del sistema de riego Inka de Tipón, teniendo en cuenta las eficiencias de captación, conducción y distribución, detalladas precedentemente, fue estimada en 94.1%.
5. El planeamiento del sistema de riego Inka de Tipón, fue de gran importancia para lograr los niveles de eficiencia hídrica alcanzados. El investigador V. R. Lee estableció que se usaron maquetas para las obras de infraestructura inka, lo cual permitía plantear criterios de optimización en la etapa del planeamiento.



6. Siendo la demanda mucho menor que la oferta hídrica disponible, la influencia de estos parámetros (oferta y demanda hídricas), resulta siendo bastante relativa en la determinación de eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.
7. El planteamiento hidráulico afectó de manera decisiva en la eficiencia del sistema de riego Inka de Tipón debido a que las estructuras y su disposición en el campo estuvieron influenciadas por la cosmovisión andina, es decir por su concepción dual del universo. Ello motivó el planteamiento de dos sistemas de captación, dos canales principales, dos grupos de andenes. La captación de la fuente de aguas subterráneas, por la forma en que fue diseñada y construida, representa el mensaje ideográfico escrito en piedra de la cosmovisión andina.
8. Los costos del sistema de riego Inka de Tipón no pueden ser expresados en términos monetarios. Tampoco se puede hablar de beneficios en términos de rentabilidad. De esta manera, estos conceptos, resultan ajenos y sin ninguna influencia en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón. (Espinoza Soriano sugiere que una manera de estimar los costos sería cuantificar la fuerza de trabajo. En el caso de Tipón ésta fue estimada en 32.85 millones de horas-hombre. En cuanto a los beneficios, estos debieron tener un alcance social cuando Tipón pasó a servir como un centro experimental de cultivos)
9. El impacto ambiental de la construcción del sistema de riego Inka de Tipón no fue significativo. Al ser un impacto ligeramente positivo, su influencia en la eficiencia hídrica en el sistema no tuvo una repercusión significativa.



RECOMENDACIONES

1. La presente investigación nos muestra, apenas, una fracción muy pequeña del conocimiento y la sabiduría ancestral de la cultura andina por lo que resulta conveniente y recomendable promover y auspiciar a gran escala, las investigaciones que en todos los campos del conocimiento nos ofrece y nos presenta la cultura andina.
2. La lengua quechua como expresión cultural, es uno de los elementos de mayor importancia en el conocimiento y revaloración de la cultura andina, por lo que recomendamos profundizar los estudios de esta y otras lenguas nativas como el aymara. Estos estudios permitirán recuperar términos que se van perdiendo en el tiempo y ofrecerán la posibilidad de desentrañar con mayor amplitud, los enigmas y arcanos que, a pesar del tiempo y la ignominiosa ocupación y rapiña hispana que registra nuestra historia, permanecen latentes, esperando ser puestos en evidencia para dar cumplimiento a los principios de la lógica andina: la relacionalidad del todo, la correspondencia, la complementariedad y el universal principio de reciprocidad, para ponerlos al servicio de la humanidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcayhuamán, L. (2012). La Ingeniería Civil de los Incas y la Ingeniería del Presente. *Ingeniería Civil. Revista Técnica del capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros del Perú*, 70 Págs.
- Angles, V. (1988). *Historia del Cusco Incaico - Tomo II*. Lima: Industrial Gráfica S.A.
- Arangoitia, V. (1986). *Mejoramiento de un Sistema de Riego, Proyecto CC. Anansaya, Nihuacalla, Maska - Paruro*. Cusco: Tesis de Grado - UNSAAC.
- Blank, L. & Tarquin, A. . (2006). *Ingeniería Económica*. México D.F.: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Bray, T. L. (20 de January de 2017). *Water, Ritual, and Power in the Inca Empire*. Obtenido de Latin American Antiquity, Published online by Cambridge University Press: <https://doi.org/10.7183/1045-6635.24.2.164>
- Carmona Cruz, A. (2013). *La Cosmovisión Dual de los Inkas*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego. Utilización Racional del Agua*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Collazos C, J. (2015). *Manual de Evaluación Ambiental de Proyectos*. Lima: Editorial San Marcos.



- Condori, J. (2014). *Informe Anual de Obra 2014 - Restauración del Parque Arqueológico de Tipón*. Cusco:
<http://biblioteca.culturacusco.gob.pe:8080/handle/ddccusco/755>.
- Coronado, F. (2014). *Las Irrigaciones, planeamiento y guía para el diseño hidráulico de las obras mayores*. Lima: W&A Sevicios Integrales EIRL.
- Espinoza S., W. (2011). *Los Incas, Economía, Sociedad y Estado en la era del Tahuantinsuyo*. Lima: Amaru editores.
- Estermann, J. (2018). *Filosofía Andina, estudio intercultural de la sabiduría autóctona andina*. Lima: Paulinas.
- Freire, B & Díaz, J. (18 de Octubre de 2011). *Manejo del recurso hídrico en culturas precolombinas*. Obtenido de
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/handle/10893/2604>
- García M, J. J. (2015). *La Racionalidad en la Cosmovisión Andina*. Lima:
Universidad de Ciencias y Humanidades.
- Hernández S, Fernández & Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación*.
Mexico D. F.: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Herrera W., A. (2011). *La Recuperación de Tecnologías Indígenas*.
Arqueología, tecnología y desarrollo en los Andes. Lima: Tarea
Asociación Gráfica Educativa.
- Hocquenghem, A. M. (1984). Hanan y Hurin, un modelo de organización y
clasificación del mundo andino. *Amerindia A.E.A París-Francia*, 62 Págs.



- Julien, C. (2018). *Para leer la historia Inca*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Krochin, S. (2010). *Diseño Hidráulico*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Lee, V. (1996). Design by Numbers, Architectural Order Among the Incas. 36 *Anual Meetin of the Institute of Andean Studies, Berkeley - California*.
- Linsley & Franzini. (1975). *Ingeniería de los Recursos Hidráulicos*. Mexico: CECSA.
- Lumbreras Salcedo, L. G. (2015). *Los Orígenes de la Civilización en el Perú*. Lima: Instituto Andino de Estudios Arqueológico-Sociales S.A.C.
- Lumbreras, Kaulicke, Santillana & Espinoza. (2010). *Economía Prehispánica*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- MacCormack, S. (2016). *Religión en los Andes*. Lima: Tarea, Asociación Gráfica Educativa.
- Malvares, M. (2013). Gestión del agua en el contexto de la globalización. Una aproximación de análisis desde la perspectiva de la sociedad del riesgo. *Cambio Climático, Movimientos Sociales y Políticas Públicas, una Vinculación Necesaria*, Págs 105 - 123.
- Mankiw, G. (2016). *Principios de Economía*. México: Impresos Vacha S.A. de C.V.
- Moscovich, V. (2017). *El Khipu y la Yupana, Administración y Contabilidad en el Imperio Inca*. Lima: Tarea, Asociación Gráfica Educativa.



- Núñez Anavitarte, C. (1954). *Teoría del Desarrollo Incásico, Interpretación Esclavista Patriarcal de su Proceso Histórico Natural*. Cusco: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de San Antonio Abad.
- Olarte H., W. (2002). *Manual de Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas*. Cusco: Danny's Graff.
- Olarte, W. (1987). *Manual de riego por gravedad*. Lima: Imprenta Propaceb.
- Ortloff, C. (23 de December de 2019). *Tipón: Perspectiva de la práctica de ingeniería hidráulica Inka*. Obtenido de Latin American Antiquity: <https://www.cambridge.org/core/terms>.
<https://doi.org/10.1017/laq.2019.70>
- Ortloff, C. (2021). *The Hydraulic State science and Society in the Ancient World*. New York: Routledge.
- Peña, Depaz, Quezada, Mejía, Rivara, Mendizabal & Chávez. (2005). *La Racionalidad Andina*. Lima: Editorial Mantaro.
- Potter, Wiggert & Ramadam. (2015). *Mecánica de Fluidos*. México D.F.: Cengage Learning.
- Protzen, J. P. (2005). *Arquitectura y Construcciones Incas en Ollantaytambo*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Ramos, L. (2014). *Diseño de Estructuras Hidráulicas*. Lima: Fondo Editorial UNALM.



- Sherbondy, J. E. (1987). Organización Hidráulica y Poder en el Cuzco de los Incas. *Revista Española de Antropología Americana* N° XVII, Págs 117 - 153.
- Sierra & Carazas. (1993). *Proyecto de irrigación y rehabilitación Tipón* . Cusco: Tesis UNSAAAC.
- Taylor, J. (2014). *Introducción al Análisis de Errores, Estudio de las Incertidumbres en las Mediciones Físicas*. Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Valderrama, S. (2016). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica cuantitativa, cualitativa y mixta*. Lima: Editorial San Marcos.
- Vásques, Mejía, Faustino, Terán, Vásquez, Diaz, Vásquez, Castro, Tapia & Alcántara. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima: Ad Printing SAC.
- Villena, J. (2002). *Tipón, Interpretación Filosófica del Origen de la Vida*. Cusco: Villena Editor.
- Walpole, Myers, Myers & Ye. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México: Pearson.
- Wright, Kenneth. (2008). *Tipón Obra Maestra de la Ingeniería Hidráulica del Imperio de los Incas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Zill & Wriht. (2012). *Matemáticas Avanzadas para Ingeniería*. México D.F.: Mc Graw-Hill.



ANEXOS



MATRIZ DE CONSISTENCIA CONCEPTUALIZACIÓN (PLAN TEÓRICO)

TÍTULO: Eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y sus obras de infraestructura hidráulica, Cusco – 2020

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIONES	OPERACIONALIZACIÓN		
				VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES
<p>Problema General Mixto</p> <p>¿Cuáles fueron los niveles de eficiencia hídrica, alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica?</p>	<p>Objetivo General Mixto</p> <p>Identificar y determinar los niveles de eficiencia hídrica, alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica.</p>	<p>Hipótesis General Mixta</p> <p>Los niveles de eficiencia hídrica alcanzados por el sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y el diseño de sus obras de infraestructura hidráulica, fueron superiores al 70% en promedio.</p>	<p>Científica</p> <p>El avance de la ciencia, tiene lugar en base trabajos y estudios analíticos y experimentales. La presente es una investigación analítica que permitirá conocer la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>Técnica</p> <p>La evaluación hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, puede evidenciar aspectos tecnológicos y conceptuales ventajosos, que podrían ser replicados en los sistemas de riego andino, actuales.</p> <p>Económicas</p> <p>La determinación de la eficiencia hídrica del sistema y sus componentes, permitirá conocer aquellos aspectos a tener en cuenta para mejorar las eficiencias de los sistemas de riego por gravedad</p>	<p>Variable Independ. (cualitativa)</p> <p>Concepción del sistema de riego Inka de Tipón</p>	Planeamiento del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo - Disponibilidad de suelos aptos para el cultivo - Relieve - Vulnerabilidad - Acceso - Disponibilidad de recursos - Beneficiarios - Vida útil del proyecto - Operación y mantenimiento del sistema
Oferta y demanda hídricas	<ul style="list-style-type: none"> - Oferta hídrica - Demanda hídrica 					
Planteamiento hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> - Cosmovisión andina - Planteamiento del sistema 					
Costos y beneficios	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de producción - Utilidad del sistema 					
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - El culto a la Pacha Mama - Evaluación ambiental 					
<p>Problemas específicos cuantitativos</p> <p>a) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron las captaciones del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>b) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron los canales de conducción del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>c) ¿Qué nivel de eficiencia hídrica alcanzaron los canales de distribución del sistema de riego Inka de Tipón?</p>	<p>Objetivos específicos cuantitativos</p> <p>a) Determinar el nivel de eficiencia hídrica que alcanzaron las captaciones, en el sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>b) Determinar el nivel de eficiencia hídrica de los canales de conducción, en el sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>c) Determinar el nivel de eficiencia hídrica de los canales de distribución, en el sistema de riego Inka de Tipón.</p>	<p>Hipótesis específicas cuantitativas</p> <p>a) La eficiencia hídrica de las captaciones en el sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó un nivel superior al 90% en promedio.</p> <p>b) La eficiencia hídrica de los canales de conducción del sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó niveles superiores al 75% en promedio</p> <p>c) La eficiencia hídrica de los canales de distribución en el sistema de riego Inka de Tipón, alcanzó niveles superiores al 75% en promedio.</p>	<p>Variable Independ. (cuantitativa)</p> <p>Obras de infraestructura hidráulica en el sistema de riego Inka de Tipón</p>	Sistema de captación	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación de las captaciones - Caudales disponibles - Tipo de las bocatomas - Geometría 	
				Sistema de conducción	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo - Geometría de los canales - Revestimiento - Obras de arte - Pérdidas en los canales 	
				Sistema de distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo - Geometría de los canales - Revestimiento - Pérdidas en los canales 	
				<p>Variable Dependiente</p> <p>Eficiencia hídrica del sistema</p>	Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de captación - Eficiencias de conducción y de distribución - Eficiencia hídrica.



Problemas específicos cualitativos	Ojetivos específicos cualitativos	Hipótesis específicas cualitativas	Sociales			
<p>a) ¿Cuál fue la importancia del planeamiento en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>b) ¿Cómo influyó la oferta y la demanda del agua en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>c) ¿Cómo afectó el planteamiento hidráulico en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>d) ¿De qué manera influenciaron los costos y beneficios en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?</p> <p>e) ¿Qué repercusiones tuvo el impacto ambiental en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón?</p>	<p>a) Establecer la importancia que tuvo el planeamiento, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>b) Establecer la influencia de la oferta y la demanda del agua, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>c) Establecer como afectó el planteamiento hidráulico, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>d) Establecer la influencia de los costos y beneficios, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>e) Establecer las repercusiones del impacto ambiental, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p>	<p>a) El planeamiento tuvo una incidencia muy importante, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>b) La influencia de la oferta y la demanda del agua, fue relativa, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>c) El planteamiento hidráulico, afectó de manera decisiva en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>d) Los costos y beneficios afectaron relativamente, en la determinación de la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p> <p>e) El impacto ambiental no tuvo repercusiones significativas, en la eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón.</p>	<p>Un mejor conocimiento y valoración de la cultura ancestral, permitirá el fortalecimiento de la identidad nacional y el incremento de la autoestima de los peruanos.</p> <p>Ambientales Dado el respeto y reverencia de la cultura andina por el medio ambiente y la naturaleza, la presente investigación permitirá ponderar los beneficios del cuidado y protección del medio ambiente, en la actualidad.</p>			



MATRIZ DE CONSISTENCIA CONCEPTUALIZACIÓN (PLAN OPERACIONAL)

TÍTULO: Eficiencia hídrica del sistema de riego Inka de Tipón, considerando la concepción del sistema y sus obras de infraestructura hidráulica Cusco – 2020

TIPO DE INVESTIGACIÓN	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	MÉTODOS INVESTIGATIVOS	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
La investigación planteada corresponde al tipo de investigación tecnológica u operativa desarrollada mediante el ENFOQUE MIXTO de la investigación científica.	En la parte cuantitativa, el nivel de la investigación corresponde al diseño no-experimental transeccional, descriptivo La parte cualitativa no define un nivel específico de la investigación.	Se empleará el muestreo mixto que corresponde al enfoque mixto de la investigación científica. El muestreo mixto, en opinión de Hernández Sampieri et al, implica un intercambio entre las posibilidades de generación externa y transferencia, en consecuencia, para lograr una fiel representatividad, la unidad de estudio lo constituye el integro del complejo o sistema de riego Inka, de Tipón.	De acuerdo al criterio de Hernández Sampieri et al y considerando que se buscará corroborar los datos cualitativos y cuantitativos, y efectuar una validación cruzada de la información obtenida en el campo, la presente investigación empleará la metodología de la Triangulación Concurrente (Ditriac), complementado con el denominado Diseño Transformativo Concurrente (Distrac)	Hernández Sampieri et al, para un enfoque mixto, recomiendan efectuar, inicialmente, una visita exploratoria para definir los lugares o estructuras a ser evaluadas, para continuar con la observación de los fenómenos de interés. La información a obtener procede de la observación pero también es documental y bibliográfica	Enfoque cuantitativo - Instrumentos de medición de campo (wincha, jalones, eclímetro, brújula, etc.) - Fichas para registrar las características geométricas de las estructuras hidráulicas - Fichas para aforo de caudales. Enfoque cualitativo - Fichas de observación - Lectura analítica



INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta que la investigación es de enfoque mixto, se hizo uso de la técnica de la Observación, tanto para la toma de datos cuantitativos como cualitativos, habiéndose seleccionado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

Para los datos cuantitativos obtenidos por medición directa en campo, se emplearon instrumentos de uso común tales como wincha, eclímetro, brújula, cronómetro, etc. Los datos cualitativos que requerían estimación de campo (como por ejemplo la presencia de vulnerabilidades en la zona o la existencia de materiales de construcción), se efectuaron por observación directa en la zona de estudio. Para la evaluación de la concepción tecnológica y filosófica del sistema de riego Inka de Tipón, se hizo uso de la técnica documental, del tipo lectura analítica

Para la recolección de datos cuantitativos, se emplearon fichas previamente elaboradas. A manera de ejemplo ilustrativo se presentan a continuación, fichas debidamente desarrolladas:



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA

PARA EL AFORO DE CAUDALES

LUGAR. . . *Canal Principal*. ZONA. . . *Próxima a la captación*. . . .

TRAMO. . . . *Primer tramo, margen izquierda*

HORA DE INICIO . . *10:00 hrs.* . . HORA DE CONCLUSIÓN . . *13:10 hrs.* . .

CLIMA . . . *Con sol*

OPERADOR (ES) . . . *Arangoitia Víctor y Quirita Aldair*

ESTRUCTURA	SECCIÓN	L [m]	b [cm]	y [cm]	H [cm]	t [s]	v [m/s]	Q [Lts/seg]
Canal	Rectang.	3.00	23.0	8.2	18.5	3.25		
			23.9	11.8	18.0	4.12		
			24.2	10.2	18.0	4.21		
						4.64		
						4.41		
						4.05		
						3.68		
						4.12		
						4.24		
VALORES MEDIOS:		3.00	23.7	10.1	18.2	4.30	0.70	11.73

Cusco, 19. . de enero . de 2021. . .



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA

**MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL
SISTEMA DE RIEGO INKA DE TIPÓN – MEDIO FÍSICO**

LUGAR *Tipón* ZONA. . . . *Construida*

OBJETIVO: *Evaluación para Tesis Doctoral*

OPERADOR (ES) *Arangoitia Víctor*

Acciones del Proyecto Impactos Ambientales		Construcción de la bocatoma superficial	Construcción de la Captación subterránea	Construcción del canal aductor	Construcción de los canales de distribución	Construcción de accesos y caminos	Construcción de Obras de Arte	Construcción de terrazas	Eliminación de desmonte	Promedio aritmético	Total C.A.
											MI
1	Aire										
1.1	Generación de polvo	-1\1	-1\1	-1\1	-1\1	-2\2	-1\1	-5\7	-2\2	-48	-14\16
1.2	Nivel de ruido		-1\2	-2\4	-2\4	-2\3	-2\3	-3\5	-1\1	-46	-13\22
2	Agua										
2.1	Alteración de las zonas de recarga hídrica		+8\8							+64	+8\8
2.2	Polución	-1\2	-2\2							-6	-3\4
2.3	Contaminación por escombros	-2\2	-1\2							-6	-3\4
2.4	Vertimientos diversos	-1\1	-1\1				-1\1			-3	-3\3
3	Suelo										
3.1	Alteración de la morfología		-1\2	-1\1	+2\3	+1\2	+1\1	+8\10		+86	+10\19
3.2	Modificación de la calidad de los suelos			-1\4	-1\4	+2\2		+10\10		+96	+10\20
3.3	Erosión		+5\8	+2\2		-1\2		+10\10		+142	+16\22
3.4	Desestabilización de taludes		+2\2	-3\5		-1\2	-1\1	+10\10		+86	+7\20
3.5	Acumulación de residuos y desechos		-1\1	-2\3	-1\2	-2\2	-1\2	-5\5	-3\3	-49	-15\18
4	Paisaje										
4.1	Degradación del paisaje			-1\2	-1\1	-1\1	+1\1	+8\10		+77	+6\15
TOTAL											+6\171

Cusco, febrero . . . de . . 2022 . .



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

LUGAR. . . *P. A. Tipón* ZONA. . *Ladera del c° Cruzmoqo.* . .

HORA DE INICIO . . *08:30 hrs* . . . HORA DE CONCLUSIÓN . . *13 hrs.* . . .

CLIMA . . *Soleado*

OPERADOR (ES) *Arangoitia Víctor*

Peligro	Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo				
	Baja	Media	Alta	LD	D	ED	Tr	To	Mo	Im	In
Deslizamiento			X		X					X	

LD=Ligeramente dañino
D = Dañino
ED=Extremadamente dañino
Tr=Trivial
To=Tolerable
Mo=Moderado
Im=Importante
In=Intolerable

Cusco, *marzo* . . de . . *2021* . .