

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS
DE LA EMPRESA AZUCARERA AGROINDUSTRIAS SAN
JACINTO S.A.A. – ANCASH”**

Presentado por:

JHOSEP JHONATAN OCHOA GAMARRA

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Lima - Perú
2018**

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo con eterna gratitud a mi madre Lourdes Gamarra García, quien con sus consejos, amor y comprensión supo guiarme en el camino correcto.

A mis hermanos Holinson, Jack y Dustin, por ser mis grandes maestros de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera han contribuido con el desarrollo y publicación del presente trabajo, en especial a:

- Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A., por haber prestado todas las facilidades del caso en el desarrollo de la investigación.
- A todos los trabajadores de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A., en especial al área del Departamento de Recursos Hídricos, ya que gracias a ellos se cumplieron los objetivos de este trabajo.
- Dra. Lía Ramos, en calidad de patrocinadora, por sus sabios consejos y gestora de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivo principal	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS (S.R.H.)	3
2.1.1. Planificación y gestión de los sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)	3
2.1.2. Análisis de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)	4
2.1.3. Simulación de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)	6
2.1.4. Optimización de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)	6
2.1.5. Sistemas de soporte de decisión (S.S.D.)	7
2.2. SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIÓN AQUATOOL	8
2.2.1. Características principales.	8
2.2.2. Funcionamiento del sistema	9
2.2.3. Función objetivo	12
2.3. OTROS SISTEMAS DE SOPORTE DE DECISIÓN DISPONIBLES PARA LA MODELACIÓN DE S.R.H.	15
2.3.1. Sistema de soporte de decisión MODSIM	15
2.3.2. Modelo de evaluación del agua y planificación (WEAP)	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. ZONA DE ESTUDIO	18
3.1.1. Agua	20
3.1.2. Clima	25
3.1.3. Suelo	26

3.2.	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES	28
3.2.1.	Equipos	28
3.2.2.	Herramientas computacionales.....	28
3.3.	METODOLOGÍA	28
3.3.1.	Caracterización de la zona de estudio.....	30
3.3.2.	Simulación del sistema de recursos hídricos.	35
3.3.3.	Optimización del sistema de recursos hídricos.....	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	45
4.2.	SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL S.R.H.....	48
4.3.	OPTIMIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL S.R.H.	55
V.	CONCLUSIONES	57
VI.	RECOMENDACIONES	58
VII.	BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Rutas de acceso para llegar al centro poblado San Jacinto	20
Tabla 3.2: Coordenadas geográficas UTM de las estaciones meteorológicas de A.I.S.J....	25
Tabla 3.3: Distribución porcentual de texturas de los suelos de A.I.S.J.	26
Tabla 3.4: Agrupación de los campos de A.I.S.J. en nueve sectores de riego	30
Tabla 3.5: Eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación en los sectores agrícolas de la empresa A.I.S.J.	31
Tabla 3.6: Coeficiente de cultivo para diferentes estadios de la caña de azúcar.....	32
Tabla 3.7: Características de los tramos de río ingresados en el módulo SIMGES del AQUATOOL	37
Tabla 3.8: Características principales de los 23 escenarios planteados para la optimización del sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera A.I.S.J.	40
Tabla 4.1: Resumen del inventario de la infraestructura mayor y menor de riego	47
Tabla 4.2: Relación beneficio-costo y reducción del déficit hídrico de los 23 proyectos de inversión.....	53
Tabla 4.3: Proyectos que maximizan los beneficios económicos de la empresa azucarera San Jacinto.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Subsistemas que componen un sistema de recursos hídricos	5
Figura 2.2: Modelo de un sistema	5
Figura 2.3: Esquema de la optimización en un modelo.....	7
Figura 2.4: Ejemplo de un esquema hidráulico construido en el módulo SIMGES del AQUATOOL.....	11
Figura 2.5: Interfaz del sistema de soporte de decision MODSIM	16
Figura 2.6: Interfaz del WEAP.....	17
Figura 3.1: Ubicación de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. y de las estaciones meteorológicas.....	19
Figura 3.2: Hidrograma mensual del río Nepeña en la Estación Puente Moro, y variación de las captaciones del río Nepeña, Proyecto Especial Chincas, filtraciones, drenes y pozos de la empresa A.I.S.J, de enero del 2006 a diciembre del 2015.	21
Figura 3.3: Ubicación y área de influencia del Proyecto Especial Chincas, con bocatoma La Huaca en círculo rojo y el canal de conducción, en línea punteada de color morado.	23
Figura 3.4: Variación mensual de la evapotranspiración de referencia (mm/d) del año crítico para cada estación meteorológica de la empresa A.I.S.J.	26
Figura 3.5: Caracterización físico-química de los suelos de la empresa A.I.S.J. en base a las 1400 muestras extraídas de todos sus campos	27
Figura 3.6: Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio	29

Figura 3.7: Variación de los valores del coeficiente de cultivo (Kc) según las etapas fenológicas de la caña de azúcar.	32
Figura 3.8: Inicio del periodo vegetativo, periodo de agoste y cosecha del cultivo de caña de azúcar en cada uno de los sectores de riego.	33
Figura 3.9: Diagrama de flujo de los procesos en la fabricación de azúcar.	34
Figura 3.10: Esquema hidráulico por sector de riego de la empresa A.I.S.J.	35
Figura 3.11: Plantilla de estimación de la infiltración en canales abiertos del software HCANALES.	36
Figura 3.12: Valores de coeficientes de rugosidad de Manning (n) para el cauce del río Nepeña.	38
Figura 4.1: Variación mensual de la temperatura, velocidad de viento, humedad relativa, precipitación y la evapotranspiración de referencia de la estación meteorológica Juan Díaz. Periodo de información: enero del 2011 a diciembre del 2016.	45
Figura 4.2: Variación mensual de la demanda hídrica por sector de riego.	49
Figura 4.3: Esquema hidráulico del escenario base del sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J., formulado en el módulo SIMGES	50
Figura 4.4: Variación mensual del déficit hídrico por sector de riego, en el escenario base del sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J. Período de análisis: enero del 2006 a diciembre del 2015.	52
Figura 4.5: Variación mensual del déficit hídrico por sector de riego, de los 23 escenarios propuestos para optimizar el sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J. Período de análisis: de enero del 2006 a diciembre del 2015.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.1: Inventario de reservorios

Tabla 1.2: Inventario de canales

Tabla 1.3: Inventario de pozos

Tabla 1.4: Información hidrométrica de captaciones de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

Figura 1.1: Plano del embalse Campana de 2,04 Hm³ (izquierda) y curva de altitud vs. volumen embalsado (derecha)

Figura 1.2: Plano del embalse Cunchen de 4,83 Hm³ (izquierda) y curva de altitud vs. volumen embalsado (derecha)

Figura 1.3: Plano del embalse Motocachy de 4,84 Hm³ (izquierda) y curva de altitud vs. volumen embalsado (derecha)

ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 2.1: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Motocachy

Figura 2.2: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Quisque

Figura 2.3: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector San Jacinto

Figura 2.4: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Palenque

Figura 2.5: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector San José

Figura 2.6: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Nepeña

Figura 2.7: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Capellanía

Figura 2.8: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector Huacatambo

Figura 2.9: Levantamiento topográfico y aforos en la infraestructura de riego del sector La Capilla

ANEXO 3: PLANOS

Plano 1: Esquema hidráulica de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

RESUMEN

En el presente estudio, se ha analizado el estado del sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera Agroindustrias San Jacinto S.A.A. en el periodo 2006-2015, así como las posibilidades que existen para optimizarlo. Esta empresa tiene como ámbito geográfico la parte media y baja de la cuenca del río Nepeña, contando con 7000 ha de cultivo de caña de azúcar. Para iniciar el análisis del sistema, se realizó un inventario de la infraestructura mayor y menor de riego y se recopiló la información hidrométrica y meteorológica. Esta información fue utilizada para simular el sistema general, mediante el sistema de soporte de decisión AQUATOOL-SIMGES. Los resultados de esta simulación indican que los campos agrícolas de la empresa agroindustrial presentan un déficit hídrico promedio anual (2006-2015) de 32,2 Hm³ y una garantía de suministro del 81,6 por ciento. Para cambiar esta situación se han propuesto 23 proyectos de inversión, los cuales han sido simulados en el esquema base para conocer sus beneficios. Para realizar el proceso de optimización se evaluó la información económica de cada escenario y contando con un presupuesto limitado como restricción, se utilizó una función objetivo para maximizar los beneficios económicos de la empresa. Con la finalidad de identificar los proyectos que deben ser ejecutados con mayor prioridad, se resolvió este problema mediante la herramienta Solver del Excel, encontrándose que el escenario óptimo está compuesto por los proyectos de revestimiento del canal de salida del reservorio Motocachy e instalación de riego por mangas en los sectores de Palenque, La Capilla y Quisque. Para ello, la empresa deberá invertir 1,73 millones de dólares para reducir en 37 por ciento el déficit hídrico, lo que proporcionará un beneficio económico de 7,73 millones de dólares en un plazo de cinco años.

Palabras claves: AQUATOOL, optimización, sistema de recursos hídricos.

ABSTRACT

In the present study, the state of the water resource system of the sugar company Agroindustrias San Jacinto S.A.A. in the period 2006-2015 was analyzed, as well as the possibilities that exist to optimize it. This company is located in the middle and lower part of the Nepeña river basin, with 7000 ha of sugarcane. To start the analysis of the system, an inventory of the major and minor irrigation infrastructure was carried out and the hydrometric and meteorological information was collected. This information was used to simulate the general system, through the decision support system AQUATOOL-SIMGES. The results of this simulation indicate that the agricultural fields of the agroindustrial company have an average annual water deficit (2006-2015) of 32.2 Hm³ and a guarantee of supply of 81.6 percent. To change this situation, 23 investment projects have been proposed and simulated in the base scheme to know their benefits. To carry out the optimization process, the economic information of each scenario was evaluated and, with a limited budget as a restriction, an objective function was used to maximize the economic benefits of the company. In order to identify the projects that must be executed with the highest priority, this problem was solved using the Solver tool of Excel, finding that the optimal scenario is composed of the projects of coating of the exit channel of the Motocachy reservoir and installation of irrigation by sleeves in the sectors of Palenque, La Capilla and Quisque. For this purpose, the company must invest 1.73 million dollars to reduce the water deficit by 37 percent, which will provide an economic benefit of 7.73 million dollars over a period of five years.

Keywords: AQUATOOL, optimization, water resources system

I. INTRODUCCIÓN

La empresa Agroindustrias San Jacinto (A.I.S.J.) se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca del río Nepeña y está dedicada al proceso del cultivo e industrialización de caña de azúcar. Actualmente, cuenta con más de 7000 ha de cultivo, siendo en la zona el usuario con más demanda hídrica y representatividad en las instituciones y autoridades del agua. Para suministrar el recurso hídrico a todos los campos, la empresa San Jacinto cuenta con una importante infraestructura de riego, la cual está compuesta por bocatomas, canales de derivación, canales laterales de 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} orden, reservorios, puentes, alcantarillas, acueductos, partidores, obras de arte y otros, resultando complejo el mantenimiento y la operación.

Constantemente se formulan proyectos de inversión para aumentar la eficiencia de riego y mejorar la disponibilidad hídrica, con la finalidad de asegurar el rendimiento de los campos y ampliar la frontera agrícola, los cuales deben ser analizados para priorizar su ejecución. Es por ello que es de vital importancia que la empresa A.I.S.J. cuente con una herramienta que le permita administrar el sistema de recurso hídrico de una manera más simple y eficiente, para tomar decisiones rápidas respecto a los diferentes proyectos que se pueden ejecutar con la finalidad de optimizar el uso del recurso hídrico.

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad la optimización del sistema de recursos hídricos de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. Para ello, se hizo uso del sistema de soporte de decisión AQUATOOL, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

Primero se presentan los fundamentos teóricos en que se basa esta propuesta y se describe el sistema de soporte de decisión AQUATOOL. Luego, se describe el sistema de recursos hídricos de la empresa San Jacinto, las características de la zona de estudio y la metodología aplicada para el desarrollo del estudio. Después, se presenta la simulación del escenario base y la simulación de diferentes escenarios planteados para optimizar el sistema. Por último, se realiza un análisis de los resultados para concluir y presentar el escenario que optimiza el sistema de recursos hídricos de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

1.1. Objetivo principal

Optimizar el sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera Agroindustrias San Jacinto S.A.A. empleando el sistema de soporte de decisión AQUATOOL.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar y simular el sistema de recursos hídricos de la empresa San Jacinto en el periodo de 2006-2015.
- Simular escenarios de gestión del recurso hídrico para optimizar su uso en la empresa San Jacinto.
- Identificar los proyectos que maximicen los beneficios económicos de la empresa San Jacinto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS (S.R.H.)

Según la Real Academia Española la palabra sistema se define como un conjunto de elementos que relacionados entre sí contribuyen a un determinado objetivo. En tal sentido, se puede definir un sistema de recursos hídricos (S.R.H.) como un conjunto de elementos: canales, reservorios, bocatomas, tomas, demandas, drenes, pozos, obras de arte y otros, los cuales se encuentran interconectados entre sí, para cumplir un objetivo. Un plan o disposición de un proyecto de recursos hídricos puede ser llamado sistema y estos, por lo general, son muy complejos por tener una gran cantidad de elementos que pueden variar por diferentes razones (Chow y Dale, 1969).

Meneses (2000), define como sistema de recursos hídricos a cualquier intervención, que tiene por finalidad el aprovechamiento del recurso hídrico, cuyo sistema puede definirse en función a sus entradas, salidas y procesos internos. Una de las características peculiares de este tipo de sistemas, es el carácter estocástico presente en sus procesos. Esto gracias a los parámetros involucrados en estos procesos, como: la variabilidad de la escorrentía de un río, las fluctuaciones de la precipitación y el crecimiento de las demandas.

Las actividades económicas desarrolladas en los S.R.H. (agricultura, industria, energía, turismo y otros) han beneficiado a la humanidad durante muchos siglos. Sin embargo, existen sistemas que no son capaces de satisfacer ni siquiera las demandas básicas de agua dulce y de calidad. Por el contrario, cuentan con una infraestructura deteriorada y provocan, en algunos casos, sobreexplotación de las fuentes, contaminación de ríos, cambios en los regímenes de flujo y sedimentos, salinización de agua de retorno, entre otros. Una de las causas frecuentes para estas fallas es la inadecuada planificación y gestión de los sistemas de recursos hídrico (Loucks y Van, 2005).

2.1.1. Planificación y gestión de los sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)

La planificación es la definición de un conjunto de estrategias para alcanzar un objetivo predeterminado, por y para un grupo de personas que dependen y comparten el mismo recurso y territorio. Este plan permite organizar y dirigir la gestión integral del recurso hídrico, siendo el objetivo de la gestión de los S.R.H., satisfacer todas necesidades de la sociedad, en la medida que sea posible, sin afectar las necesidades de las generaciones futuras. Esto implica proteger y conservar los recursos hídricos que serán necesarios en el futuro. Para tal objetivo, es necesario entender que el recurso hídrico es renovable y finito, que existen ofertas inciertas, demandas inciertas y crecientes, en consecuencia, conflictos cada vez mayores entre individuos que tienen intereses diferentes. Estos conflictos provocan que la toma de decisiones deba ser muy cuidadosa y atinada por parte de los encargados de la planificación y gestión de los S.R.H., ya que con ella beneficiará a unos y a otros no (Dourojeanni, 2000).

Chow y Dale (1969) sustentan que para encontrar una estrategia de planificación aplicable, se tiene limitaciones técnicas, económicas, sociales y políticas. Por ello, es necesario estudiar y analizar todos los parámetros y componentes que intervienen un S.R.H. Este análisis se logra a través de un modelado o una representación matemática de la realidad. Estos modelos se utilizan para ayudar en la identificación y evaluación de alternativas para cumplir con varios objetivos en la planificación y gestión del recurso hídrico.

2.1.2. Análisis de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)

El análisis de un S.R.H. estudia la interacción de los elementos de un sistema y los representan mediante funciones matemáticas o lógicas, con la finalidad de entender el comportamiento de dicho sistema y optimizarlo a través de supuestos. Lo que implica definir y evaluar numerosas alternativas de manejo y desarrollo de recursos hídricos. A menudo, el análisis de sistemas se ocupa de encontrar la manera de optimizar el sistema (Haimés *et al.*, 1987).

Nandalal y Simonovic (2002) indican que para realizar el análisis de un S.R.H. es importante verificar que todos los elementos del sistema puedan ser modelados analíticamente o conceptualmente. Siendo estos modelos, la representación matemática y/o física del sistema y de las interacciones entre los elementos del sistema. En tal sentido, el análisis de S.R.H., se refiere a la identificación y descripción de modelos de la realidad y al estudio del

comportamiento del sistema en estos modelos, bajo diferentes aspectos y condiciones. Bogardi (1991) sustenta que un sistema de recursos hídricos está compuesto por subsistemas, como se muestra en la Figura 2.1, los cuales deben ser estudiados y analizados de manera independiente, ya que influyen de manera directa en el comportamiento del sistema.

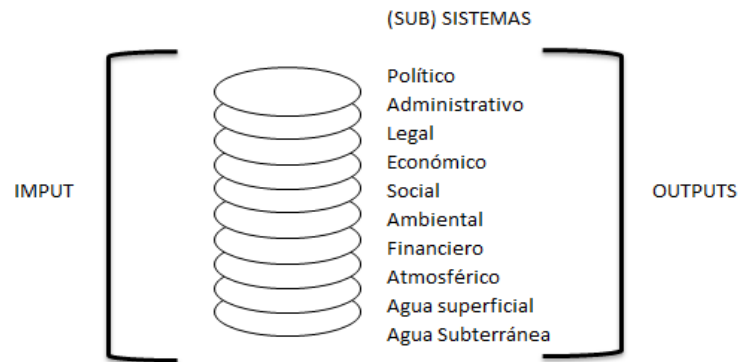


Figura 2.1: Subsistemas que componen un sistema de recursos hídricos

FUENTE: Bogardi (1991)

El modelo de un sistema real tiene elementos de entrada y de salida, los cuales intervienen en el comportamiento del sistema, como se muestra en la Figura 2.2. Mientras que las entradas controladas y parcialmente controladas se describen mediante variables de decisión, las entradas no controladas influyen en el estado del sistema sin estar sujetas a ninguna influencia directa.



Figura 2.2: Modelo de un sistema

FUENTE: Hall y Dracup, citado por Borgardi (1991)

El conjunto de alternativas factibles de variables de decisión constituye el espacio de decisión. Por el lado de la salida, se tiene las salidas deseables e indeseables. Las herramientas de un analista de sistemas son muchas y variadas en su utilidad. No existe un procedimiento de solución universal, que resuelva eficientemente todos los problemas. Sin

embargo, los enfoques disponibles y más usados son la simulación y la optimización (Nandalal y Simonovic, 2002).

2.1.3. Simulación de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)

La simulación es una de las técnicas más usadas en el análisis de sistemas, debido a su simplicidad matemática y versatilidad. Consiste en modelar numéricamente el sistema, y explorar las respuestas antes diversas alternativas de manejo. Además, permite conocer y entender el funcionamiento del sistema, determinar los factores que influyen en su comportamiento y observar cómo reaccionan a cambios en el entorno que los rodean, logrando una representación muy detallada y realista. La simulación se utiliza cuando las interrelaciones entre los parámetros relevantes o las restricciones del sistema son demasiado complejas para ser resueltas analíticamente. De esta manera, constituye una herramienta muy útil para el análisis de los sistemas, que suelen ser complejos (Chow y Dale, 1969, Korobova y Poizner, 1982 y Nandalal y Simonovic, 2002).

Meneses (2000) menciona que la simulación tiene como objetivo responder la pregunta de ¿Qué pasa si?, generando resultados por cada alternativa de gestión. Sin embargo, no puede encontrar una solución óptima de manera directa. Además, que puede ser determinista o estocástica, si el sistema está sujeto a eventos de entrada aleatoria o los genera internamente se dice que el modelo es, por lo menos, parcialmente estocástico. Mientras que, si no hay componentes aleatorios involucrados, el modelo es determinista.

2.1.4. Optimización de sistemas de recursos hídricos (S.R.H.)

En la simulación se obtiene resultados por cada supuesto; en cambio la optimización encuentra directamente la solución óptima mediante algoritmos de optimización, los cuales maximizan o minimizan variables de decisión desconocidas. Por ello, la optimización es aplicada cuando existen numerosas alternativas de solución (Loucks y Van, 2005).

Harou *et al.* (2009) sustentan que la optimización encuentra la o las soluciones óptimas para un sistema, las cuales deben ser analizadas a detalle por medio de la simulación. Por lo general, en la optimización de S.R.H. se utiliza algoritmos que maximiza los beneficios netos esperados o minimizan los costos, tales como: escasez de agua, capital de inversiones y operación. La optimización busca el mayor beneficio del sistema, mediante la óptima combinación de los factores. Estos modelos pueden ser resueltos analíticamente, con

técnicas de programación matemática, optimización dinámica o heurística (global) como algoritmos evolutivos o combinaciones de los anteriores. En la Figura 2.3 se puede observar el esquema de un modelo de optimización, donde “u” y “r” son variables de entrada, mientras que “y” son los resultados obtenidos.

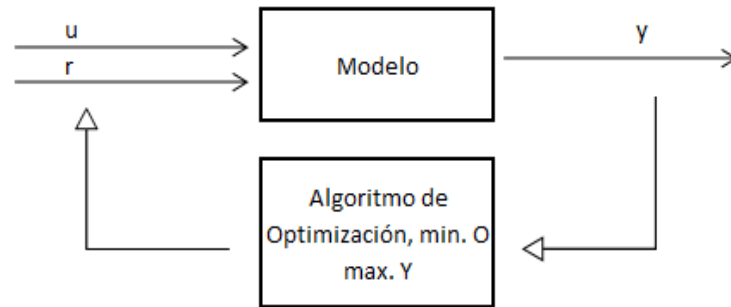


Figura 2.3: Esquema de la optimización en un modelo

FUENTE: Martínez (1993)

2.1.5. Sistemas de soporte de decisión (S.S.D.)

El manejo de la naturaleza es complejo y a menudo un desafío para todos los involucrados. Esta complejidad llevó a los investigadores de todo el mundo a desarrollar sistemas informáticos de apoyo a la toma de decisiones (S.S.D.) que pueden proporcionar una asistencia considerable para determinar la distribución temporal y espacial de la cantidad y calidad de los recursos hídricos (Loucks y Van, 2005).

Simonovic y Bender (1996) definen un sistema computarizado de apoyo a la toma de decisiones como «una herramienta que permite a los responsables de la toma de decisiones combinar el juicio personal con la salida de la computadora, en una interfaz usuario-máquina, para producir información significativa para el apoyo en un proceso de toma de decisiones».

En un sentido amplio, se define a este sistema, como un conjunto de programas y herramientas que permiten obtener, de manera oportuna, la información que se requiere en el proceso de la toma de decisiones, el cual se desarrolla en un ambiente de incertidumbre. Los S.S.D. son una combinación de datos, modelos analíticos y un software amigable, que mediante la generación y evaluación sistemática de diferentes alternativas o escenarios de decisión, logra ser de gran ayuda para los administradores a la hora de tomar decisiones (Loucks y Van, 2005).

Ruiz *et al.* (2009) indican algunas características principales de los sistemas de soporte de decisión:

- a. Interactividad: sistema computacional con la posibilidad de interactuar en forma amigable y con respuestas a tiempo real.
- b. Frecuencia de uso: tiene una utilización frecuente por parte del administrador
- c. Variedad de usuarios: puede emplearse por usuarios de diferentes áreas funcionales como ventas, producción, administración, finanzas, ingeniería y recursos humanos.
- d. Desarrollo: permite que el usuario desarrolle, de manera directa, modelos de decisión sin la participación operativa de profesionales en informática.
- e. Interacción ambiental: permite la posibilidad de interactuar con información externa como parte de los modelos de decisión.
- f. Simplicidad: simple y fácil de aprender por el usuario final.

2.2. SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIÓN AQUATOOL

El sistema AQUATOOL es una herramienta para la gestión y planificación de sistemas de recursos hídricos, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

2.2.1. Características principales

Andreu (1993) menciona que AQUATOOL es un sistema de soporte a la decisión (S.S.D.) para la planificación y gestión de cuencas o de sistemas de recursos hídricos. Como S.S.D. proporciona recursos para ayudar al análisis de diversos problemas relacionados con la gestión del agua. AQUATOOL incluye los módulos SIMGES, OPTIGES y GESCAL.

SIMGES es un módulo para la simulación de la gestión de cuencas o sistemas de recursos hídricos. La simulación se efectúa a nivel mensual y reproduce el flujo del agua a través del sistema, con el detalle espacial que el usuario desee. Dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y dispositivos de recarga artificial. Este módulo toma en cuenta las pérdidas por evaporación y filtración en embalses y cauces, así como las relaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas. La simulación y gestión del sistema superficial se efectúan mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. Dicho algoritmo se encarga de determinar el flujo en el sistema, tratando de satisfacer al

máximo los objetivos múltiples: minimización de déficits, máxima adaptación a las curvas de volumen objetivo de los embalses y objetivos de producción hidroeléctrica (Andreu *et al.*, 1994).

El módulo OPTIGES, calcula el reparto óptimo del recurso en una cuenca, en un determinado periodo, sin necesidad de numerosos datos, prácticamente solo la descripción física de la cuenca: conexiones, embalses, y demandas. Esto es una gran ventaja para su uso en sistemas de los que se dispone de reducida información o cuando se pretende obtener conclusiones generales a escala anual. Una manera eficaz de validar los resultados es tratarla y perfeccionarla con el uso del módulo SIMGES.


Andreu *et al.* (1994) indican que una vez definido el esquema, juntamente con la longitud de tiempo a ser optimizada, el modelo construye una red de flujo conservativa interna que es optimizada mediante el algoritmo de out-of-kilter. La función objetivo es la minimización de una suma ponderada de déficits de demandas y caudales mínimos. Los pesos o factores ponderantes reflejan las prioridades declaradas por el usuario.

El módulo GESCAL fue desarrollado para la evaluación de la calidad del agua a nivel de cuenca. Para ello incluye el cálculo de todos los procesos de modificación de la calidad del agua tanto en tramos de río como en embalses y aplica este cálculo a cada elemento del esquema de la cuenca elaborado para el módulo SIMGES. De esta manera, permite evaluar las consecuencias, en materia de calidad del agua, de cualquier decisión que se plantee en la cuenca.

2.2.2. Funcionamiento del sistema



La simulación y gestión del subsistema superficial se resuelven simultáneamente, mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. El esquema construido por el usuario constituye una red de flujo, como se muestra en la Figura 2.4. Para asegurar que el sistema sea conservativo, se debe asegurar que el esquema sea cerrado, creando un nudo final.

Solera *et al.* (2008) explican cada elemento del sistema de la siguiente manera:

- a.  **Embalses (superficiales):** estos elementos quedan definidos con los siguientes datos: evaporación, infiltración, regla de operación, dimensiones físicas (área, volumen y

altura) y punto de vertimiento. La simulación se realiza por medio de un balance de masas, por lo que el volumen final del embalse se representa por la siguiente expresión: $V_f = V_i + A_e + A_a - P_f - S_c - E - S_v$, donde V_i es volumen a principio de cada mes, A_e es la aportación al embalse, A_a es la aportación del mismo esquema (aguas arriba del embalse), P_f son las pérdidas por infiltración, E son las pérdidas por evaporación, S_c son los vertimientos o sueltas controladas del embalse y S_v son los vertimientos o sueltas no controladas del embalse, estas suceden cuando se supera la capacidad máxima del embalse.

Para calcular la pérdida de infiltración, el modelo, considera la siguiente ley: $P = a + bV^c$, donde a , b y c son parámetros suministrados por el usuario y V es el volumen instantáneo del embalse. Mientras que, para calcular las pérdidas por evaporación utiliza la siguiente ley: $E = \frac{S_f + S_i}{2} e 10^{-5}$, donde S_f y S_i son las superficies, en ha, de la lámina de embalse correspondientes al volumen final e inicial, respectivamente y e es el dato de evaporación en milímetros.

- b.  **Aportaciones:** flujos de agua que se incorporan al sistema.
- c.  **Conducciones:** cualquier conexión que convenga establecer entre dos elementos, estos se pueden clasificar en:
- Tipo 1: Responden a una conducción básica, no considera la infiltración. Se definen caudales máximos, mínimos y costos de flujo.
 - Tipo 2: Contemplan pérdidas por filtración en el cauce.
 - Tipo 3: Contemplan conexión hidráulica entre el río y un acuífero subyacente, y por tanto flujo del acuífero al río y viceversa, en función del estado del acuífero.
 - Tipo 4: Responden a la definición del tipo 1 con caudal máximo instantáneo está en función de la diferencia de cota entre la entrada y la salida de la conducción. Si en su origen o final se tiene un embalse, se considera la variación de cota a efectos de determinar el máximo que puede circular a lo largo del mes.
 - Tipo 5: Se trata de conexiones hidráulicas entre nudos y/o embalses, para las que el caudal circulante está en función de la diferencia de cota entre sus extremos. La circulación de agua puede tener lugar en ambos sentidos y se considera la variación de cota que pueda tenerse en los embalses a lo largo del mes.

De la misma manera que en los embalses, el modelo calcula las pérdidas por infiltración por medio de la ley: $P=a+bV^c$. Este volumen perdido puede ser enviado a los acuíferos existentes en el esquema.

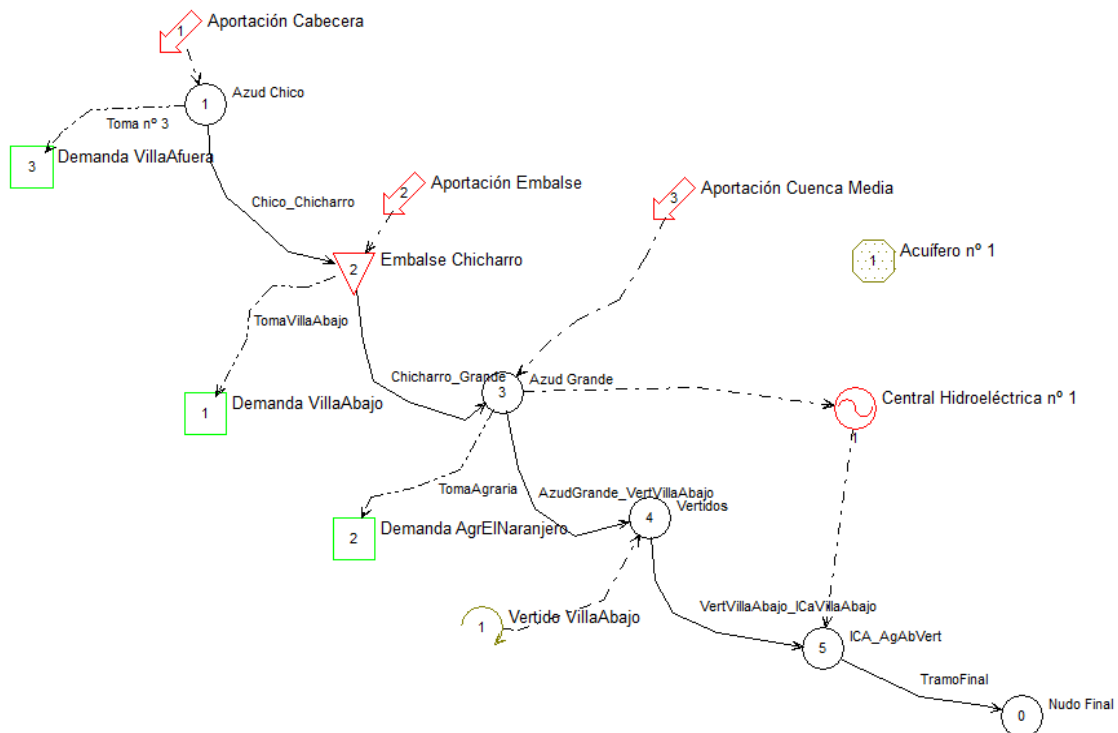








Figura 2.4: Ejemplo de un esquema hidráulico construido en el módulo SIMGES del AQUATOOL

FUENTE: Andreu *et al.* (2016)

- d.  **Demandas consuntivas:** son aquellos elementos que utilizan el agua y en los que parte de ella es consumida y por tanto se pierde para el sistema. Se definen por su curva de demanda, sus parámetros de consumo, su toma y su conexión con algún elemento de retorno. Por lo cual, es necesario definir un coeficiente de retorno (α) y un coeficiente de consumo (β), con ello el agua que vuelva al sistema por medio de un retorno superficial será: $R = (\alpha)(S_{sup})$, donde S_{sup} es el suministro superficial a la demanda. El agua que es consumida por la demanda se pierde en el sistema y es representada por: $X = (\beta)(S_{sup})$. El resto, se considera como infiltración profunda y se representa por: $I = (1 - \alpha - \beta)(S_{sup})$.
- e.  **Elementos de retorno:** son simplemente definiciones de puntos de reintegro de agua al sistema provenientes de demandas consuntivas.

- f.  **Demandas no consuntivas:** son aquellos elementos que utilizan el agua sin consumirla. Se definen mediante sus datos físicos y de producción y por su caudal mensual objetivo a utilizar.
- g.  **Recarga artificial:** son elementos cuyo flujo va a recargar acuíferos, utilizándose para tal fin los sobrantes.
- h.  **Bombeo:** son elementos de captación de agua procedente de acuíferos que es incorporada al sistema superficial para su utilización en lugar distinto de la zona donde se efectúa el bombeo.
- i.  **Acuíferos:** estos elementos representan a los acuíferos o depósitos de aguas subterráneas. Quedan definidos mediante sus parámetros físicos y mediante unos parámetros de explotación, que una vez rebasados anulan las extracciones.

2.2.3. Función objetivo

Andreu *et al.* (2013) explican que una vez construida la red interna, se inicia la dinámica de la simulación, en la que para cada mes del período de simulación se resuelve la red de flujo con los valores de aportaciones, demandas y parámetros de gestión correspondientes a ese mes. Para optimizar la red de flujo, el modelo utiliza la siguiente función objetivo: minimizar: $T_e + Tr_1 + Tr_2 + Tr_3 + Tr_4 + Tr_5 + T_{dc} + T_{dn} + T_{ra} + T_{ba}$.

Donde, T_e es un término debido a los embalses, Tr_1 un término debido a las conducciones del tipo 1, Tr_2 un término debido a las conducciones del tipo 2, Tr_3 un término debido a las conducciones del tipo 3, Tr_4 un término debido a las conducciones del tipo 4, Tr_5 un término debido a las conducciones del tipo 5, T_{dc} un término debido a las demandas consuntivas, T_{dn} un término debido a las demandas no consuntivas, T_{ra} un término debido a las recargas artificiales y T_{ba} un término debido a los bombeos adicionales. A continuación, se explica matemáticamente cada término.

- **Embalses:** Este término contiene lo siguiente: $T_e = \sum_{i=1}^{nemb} ((\sum_{j=1}^4 CE_{ij}) + P_i CV)$.

Donde, $nemb$ es el número de embalses, V_i es el volumen a final de mes en cada zona j ($j=1, 2, 3$ y 4 . La zona 1 es la zona de reserva, la 2 es la zona inferior, la 3 es la zona intermedia y la 4 es la zona superior), P_i son los vertidos (no controlados) del embalse i ,

CE_{ij} es el costo ficticio asociado al volumen embalsado en la zona j y CV es el costo ficticio asociado al vertido. Al minimizar este término, el modelo intentará conservar el agua del embalse y evitar los vertidos no controlados.

- **Conducciones tipo 1:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $Tr1 = \sum_{i=1}^{ntr1} (D_i CD_i + (Q_i - Q_i^{min}) CQ_i)$.

Donde, ntr1 es el número de tramos tipo 1, Q_i es el caudal que circula por el tramo, D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo declarado, CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo y CQ_i es el costo ficticio asociado al caudal que circula por el tramo.

- **Conducciones tipo 2:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $Tr2 = \sum_{i=1}^{ntr2} (D_i CD_i + DF_i CF_i + 1)$.

Donde, ntr2 es el número de tramos tipo 2, D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo declarado, CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo, DF_i es el posible déficit de filtraciones (filtraciones > caudal) y CF_i es el costo asociado al déficit.

- **Conducciones tipo 3:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $Tr3 = \sum_{i=1}^{ntr3} (D_i CD_i + DF_i CF_i + 1)$.

Donde, ntr3 es el número de tramos tipo 3, D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo declarado, CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo, DF_i es el posible déficit de detracciones (detracción > caudal) y CF_i es el costo ficticio asociado al déficit.

- **Conducciones tipo 4:** Este término contribuye a la función objetivo de la misma manera que lo hace el término de conducciones tipo 1.

- **Conducciones tipo 5:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $Tr5 = \sum_{i=1}^{ntr5} (DF_i CF_{5i})$.

Donde, ntr5 es el número de tramos tipo 5, DF_i es el posible déficit sobre el máximo caudal que puede circular por la conducción y CF_{5i} es el costo ficticio asociado al déficit.

- **Demandas consuntivas:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $Tdc = \sum_{i=1}^{ndc} [D_i CK + \sum_{t=1}^{nto} (S_{ti} (CT_{ti} + 1) - DS_{ti} CT_{ti})]$

Donde, ndc es el número de demandas consuntivas, D_i es el déficit sobre la demanda total de la zona i en el mes en cuestión, CK es un costo ficticio constante asociado a los déficits de las zonas de demanda, nto es el número de tomas de la demanda, St_i es el suministro bruto a la toma t de la demanda i , DS_{t_i} es el posible déficit al suministro bruto mínimo calculado por el modelo (suministro > demanda) y CT es un costo ficticio asociado con el suministro en la toma.

- **Demandas no consuntivas:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $T_{dn} = \sum_{i=1}^{ndnc} [DO_i CN_i + SO_i CS]$.

Donde, $ndnc$ es el número de demandas no consuntivas, DO_i es el déficit respecto al caudal objetivo, CN_i es un costo ficticio constante asociado a los déficits, SO_i es el superávit respecto al caudal objetivo y CS es el costo ficticio asociado al superávit.

- **Elementos de recarga:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $T_{ra} = \sum_{i=1}^{nra} (QR_i CR)$.

Donde, nra es el número de recargas artificiales, QR_i es el caudal recargado por la instalación i y CR es un costo ficticio asociado a la recarga artificial.

- **Bombeos adicionales:** Este término contribuye a la función objetivo de la siguiente manera: $T_{ba} = \sum_{i=1}^{nba} (QB_i CB_i)$.

Donde, nba es el número de bombeos adicionales, QB_i es el caudal bombeado por la instalación i y CB_i es un costo ficticio asociado a la instalación i .

El modelo minimizará la función objetivo, procurando aumentar las variables cuyo costo sea menor. Los costos ficticios que por defecto está en el modelo, se pueden variar según convenga el usuario. Además de los costos, también interviene las prioridades que se dispongan, las cuales tienen un valor en los costos ficticios. Estas prioridades también pueden ser alteradas por el usuario.

La función objetivo del modelo no resuelve las condiciones no lineales, como: la evaporación, la infiltración, la simulación de acuíferos, la relación río-acuífero, los retornos, las reglas de operación del tipo alarma-restricción y las conducciones tipo 4 y 5. Para estos parámetros, el modelo realiza un proceso de iteración con el resultado de la función objetivo, en cada paso modifica los límites en los arcos correspondientes a la función para adaptarlo

a las condiciones mencionadas. Este proceso continúa hasta que se compruebe que la última solución difiere poco de la anterior o hasta que se alcanza el máximo fijado.

2.3. OTROS SISTEMAS DE SOPORTE DE DECISIÓN DISPONIBLES PARA LA MODELACIÓN DE S.R.H.

Entre los principales sistemas de soporte de decisión, destacan los siguientes:

2.3.1. Sistema de soporte de decisión MODSIM

Es un sistema de apoyo a la toma de decisiones de cuenca hidrográfica y un modelo de flujo de red desarrollado en la Universidad Estatal de Colorado, diseñado específicamente para satisfacer las crecientes demandas y presiones sobre los administradores de cuencas hidrográficas. Está diseñado como una herramienta asistida por computadora para desarrollar estrategias de cuencas y regiones, para la gestión del agua a corto plazo, planificación operativa a largo plazo, planificación de contingencia de sequía, análisis de derechos de agua y resolver los conflictos entre las preocupaciones urbanas, agrícolas y ambientales (Labadie, 2010).

Chavarri (2004) indica que este modelo tiene la capacidad de incorporar simultáneamente la complejidad física, hidrológica y los aspectos institucionales y administrativos del manejo de una cuenca, incluyendo los derechos de agua. Además, agrega las siguientes características:

- La escala temporal del sistema puede ser: mensual, semanal y diario.
- Permite simular una gran variedad de sistemas de configuración de red de cauces y condiciones de operación.
- Permite el uso conjunto de agua superficial y subterránea
- Tiene la opción de modelación cauce-acuífero (interconexión con el MODFLOW)
- Permite el análisis de los derechos de agua en curso natural y almacenamientos.

MODSIM permite incorporar reglas de operación en los embalses, tales como derechos de agua, contratos y servicios de agua, etc. Prioriza el balance hídrico de un reservorio permitiendo al usuario un manejo detallado de la distribución del agua a lo largo del sistema. En la Figura 2.5 se muestra la interfaz de trabajo del S.S.D. En esta pantalla se puede crear

el esquema del sistema hidráulico, ingresando los elementos que se encuentran en la parte izquierda de la ventana.

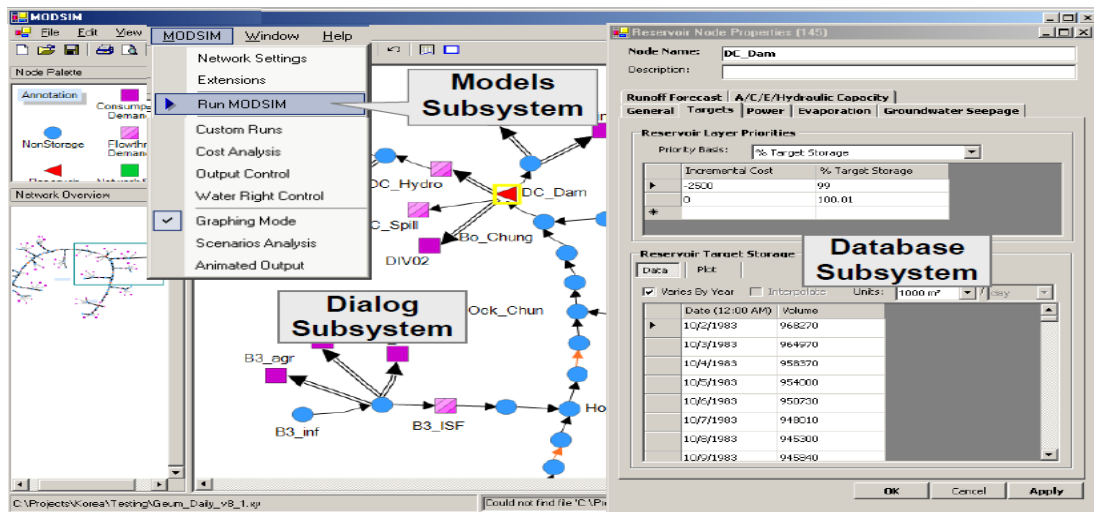


Figura 2.5: Interfaz del sistema de soporte de decisión MODSIM

FUENTE: Labadie (2010)

2.3.2. Modelo de evaluación del agua y planificación (WEAP)

Es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas espaciales, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. Apoya la planificación de recursos hídricos, balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). Esta herramienta emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible. En la Figura 2.6 se presenta la interfaz de trabajo de WEAP.

Se destaca del WEAP:

- El enfoque integrado: enfoque único para realizar evaluaciones de planificación integrada de recursos hídricos.

- El proceso de participación: una estructura transparente que facilita la participación de los actores involucrados en un proceso abierto.
- El balance de Agua: una base de datos mantiene la información de demanda y suministro para manejar el modelo de balance de masa en una arquitectura de nodo-enlace.
- Basado en simulación: calcula la demanda, oferta, escorrentía, infiltración, requisitos para las cosechas, flujos y almacenamiento del agua, y generación, tratamiento, descarga de contaminantes y de calidad de agua en ríos para variados escenarios hidrológicos y de políticas.
- Los escenarios de políticas de uso de agua: evalúa una amplia gama de opciones de desarrollo y manejo del agua y toma en cuenta los múltiples y opuestos usos de los recursos hídricos.
- La interfaz amigable: interfaz gráfica basada en mapas SIG con conceptos de "arrastrar y soltar" ("drag-and-drop") con resultados flexibles como mapas, gráficos y tablas.
- Permite integración de otros modelos: enlaces dinámicos a otros modelos y programas como QUAL2K, MODFLOW, MODPATH, PEST, Excel y GAMS.

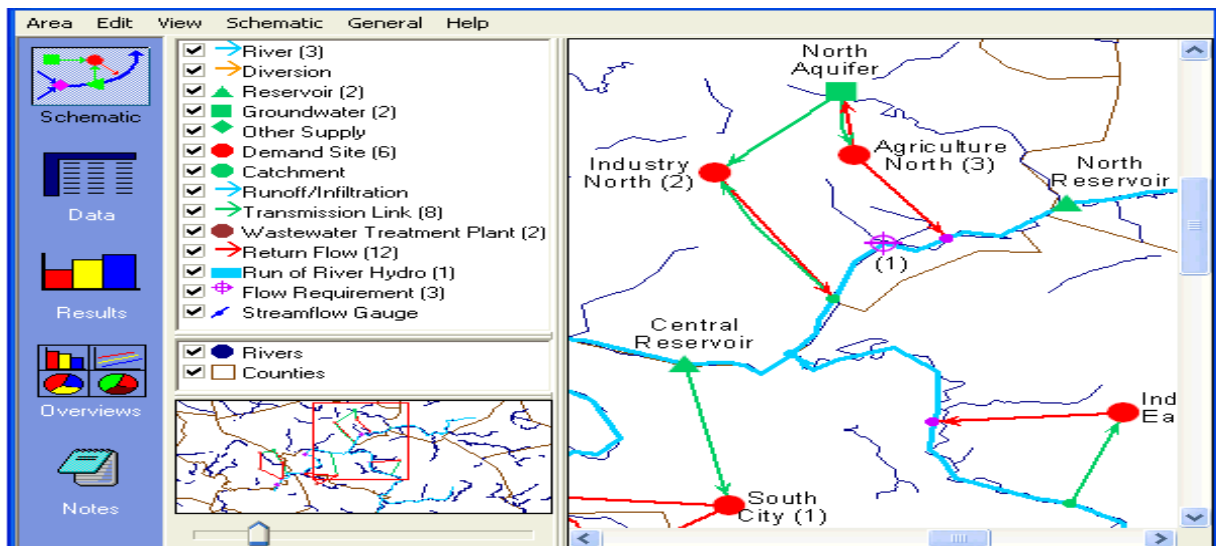


Figura 2.6: Interfaz del WEAP

FUENTE: SEI (2009)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se enmarca dentro del ámbito geográfico donde Agroindustrias San Jacinto S.A.A. (A.I.S.J.) desarrolla su actividad agrícola. La empresa San Jacinto es una sociedad dedicada al cultivo, transformación e industrialización de la caña de azúcar, así como a la comercialización de los productos y sub productos derivados de su actividad principal, como azúcar (blanca, refinada y rubia), alcoholes, melaza y fibra de bagazo. Actualmente, cuenta con 12337 ha, de las cuales 7000 ha se encuentran en cultivo. En la Figura 3.1 se observa que la empresa A.I.S.J. se encuentra ubicada en el valle del río Nepeña, en la región Áncash, a unos 45 km de la ciudad de Chimbote y a 405 km de la ciudad de Lima. Por ser el único ingenio azucarero en la región tiene un gran potencial de crecimiento agrícola y comercial en la zona.

El ámbito geográfico de la empresa abarca los siguientes centros poblados: San Juan, Motocachy, San Jacinto, Cerro Blanco, Capellanía, Huacatambo y La Capilla. Políticamente, comprende los distritos de Moro, Nepeña y Samanco; la provincia de Santa y el departamento de Ancash. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 811685.60 m a 775871.34 m por el este y 8993547.72 m a 8972642.62 m por el norte, en el sistema UTM WGS84- zona 17, teniendo una altitud que varía desde los 8 m.s.n.m. hasta los 600 m.s.n.m. Hidrográficamente, el ámbito de estudio se encuentra en la vertiente del océano del pacífico, en la cuenca del río Nepeña y limita con las siguientes cuencas: por el norte: cuenca del río Lacramarca, por el este: cuenca del río Santa, por el sur: cuenca del río Casma, por el oeste: Océano Pacífico.

La infraestructura vial de la zona en estudio está formada por dos redes, tal como se muestra en la Tabla 3.1, una red primaria conformada por la carretera Panamericana Norte que cruza el valle de sureste a noroeste, conectando al valle Nepeña con la ciudad de Chimbote por el norte y con la ciudad de Lima por el sur; y otra secundaria que está constituida por una carretera asfaltada, la cual inicia en el distrito Samanco y se dirige al distrito Moro.

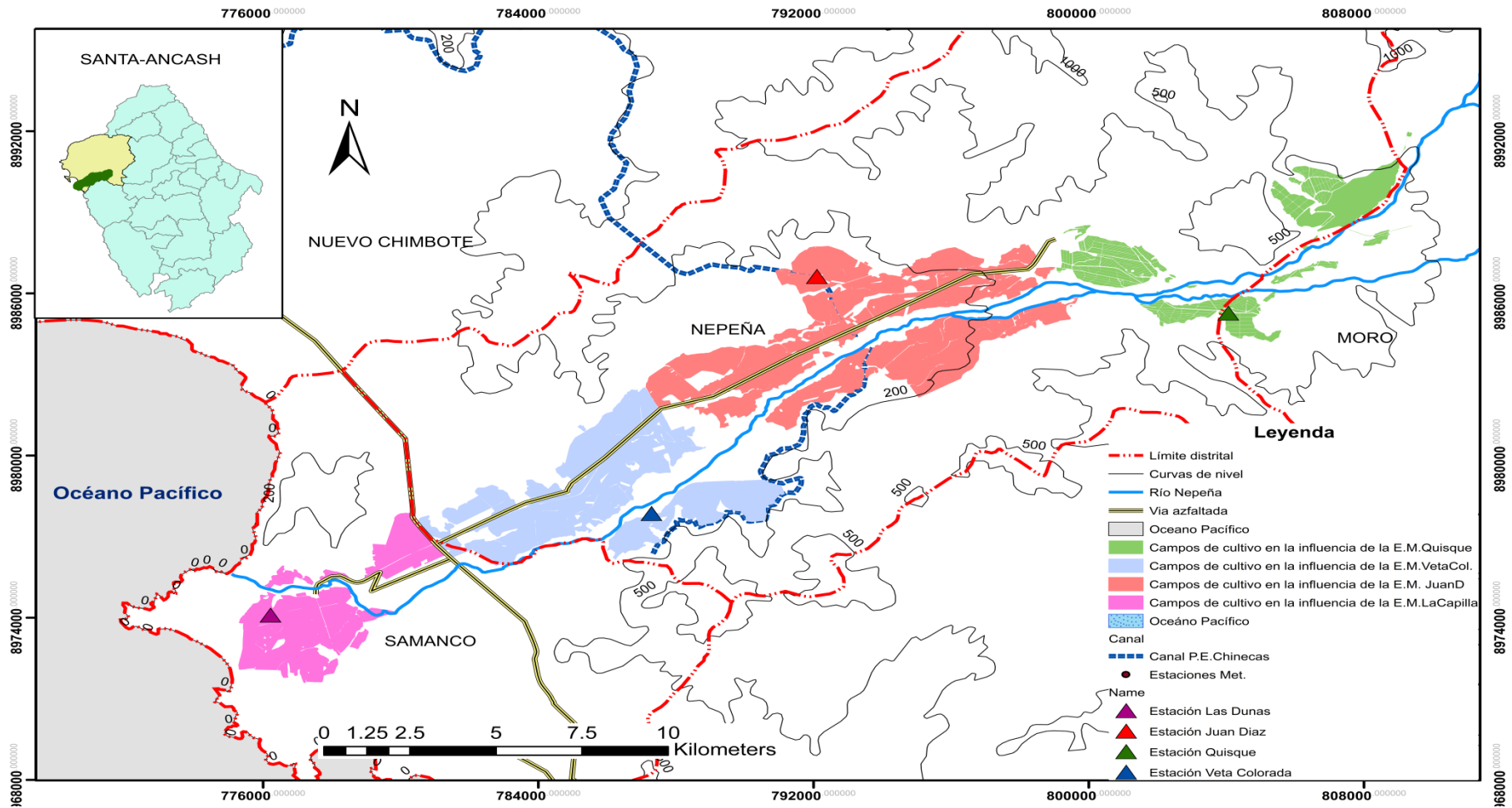


Figura 3.1: Ubicación de la Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. y de las estaciones meteorológicas

FUENTE: Elaborado con información del departamento de recursos hídricos de A.I. S.J.

Existe una serie de caminos carrozables que dan acceso a todos los centros poblados del valle.

Tabla 3.1: Rutas de acceso para llegar al centro poblado San Jacinto

De	A	Distancia (Km)	Medio de Transporte	Tiempo	Vías de acceso
Lima	Cruce Nepeña	406	Terrestre	6 hr	Panamericana Norte
Cruce Nepeña	San Jacinto	22	Terrestre	0,3 hr	Vía Asfaltada

FUENTE: Elaboración propia

3.1.1. Agua

Los campos de cultivo se ubican en la parte media y baja de la cuenca del río Nepeña. En este sector la empresa agroindustrial cuenta con cuatro fuentes de agua: río Nepeña, acuífero (pozos subterráneos y filtraciones), P.E. CHINECAS (río Santa) y drenaje agrícola. La demanda hídrica de la empresa corresponde al uso agrícola (consuntivo) y al uso industrial (no consuntivo).

En la Figura 3.2 se muestra el comportamiento de las fuentes principales de agua para la empresa agroindustrial, en un período de diez años. La información utilizada para elaborar esta figura es la que consolida diariamente la empresa en su base de datos. La Junta de Usuarios de Nepeña (J.U.N.) realiza un control hidrométrico intenso, supervisado por la empresa San Jacinto. Este trabajo se realiza para consolidar los volúmenes consumidos y realizar el cobro respectivo. Respecto al consumo de agua subterráneas por medio de pozos tubulares, la empresa tiene el control hidrométrico gracias a los caudalímetros que cuenta en cada uno de ellos.

- a. **Río Nepeña:** como se puede observar en la Figura 3.2, la descarga del río Nepeña tiene una duración muy corta y volúmenes anuales bajos, el volumen de la descarga anual varía de 107,15 hasta 39,99 Hm³, valores del 2015 y 2010, respectivamente. Estos volúmenes se presentan en menos de tres meses. A esta condición, se suma la reducida capacidad hidráulica de la infraestructura de riego y la captación del resto de los usuarios del sector, ocasionando una limitación en el aprovechamiento de los caudales de la avenida, por parte de A.I.S.J.

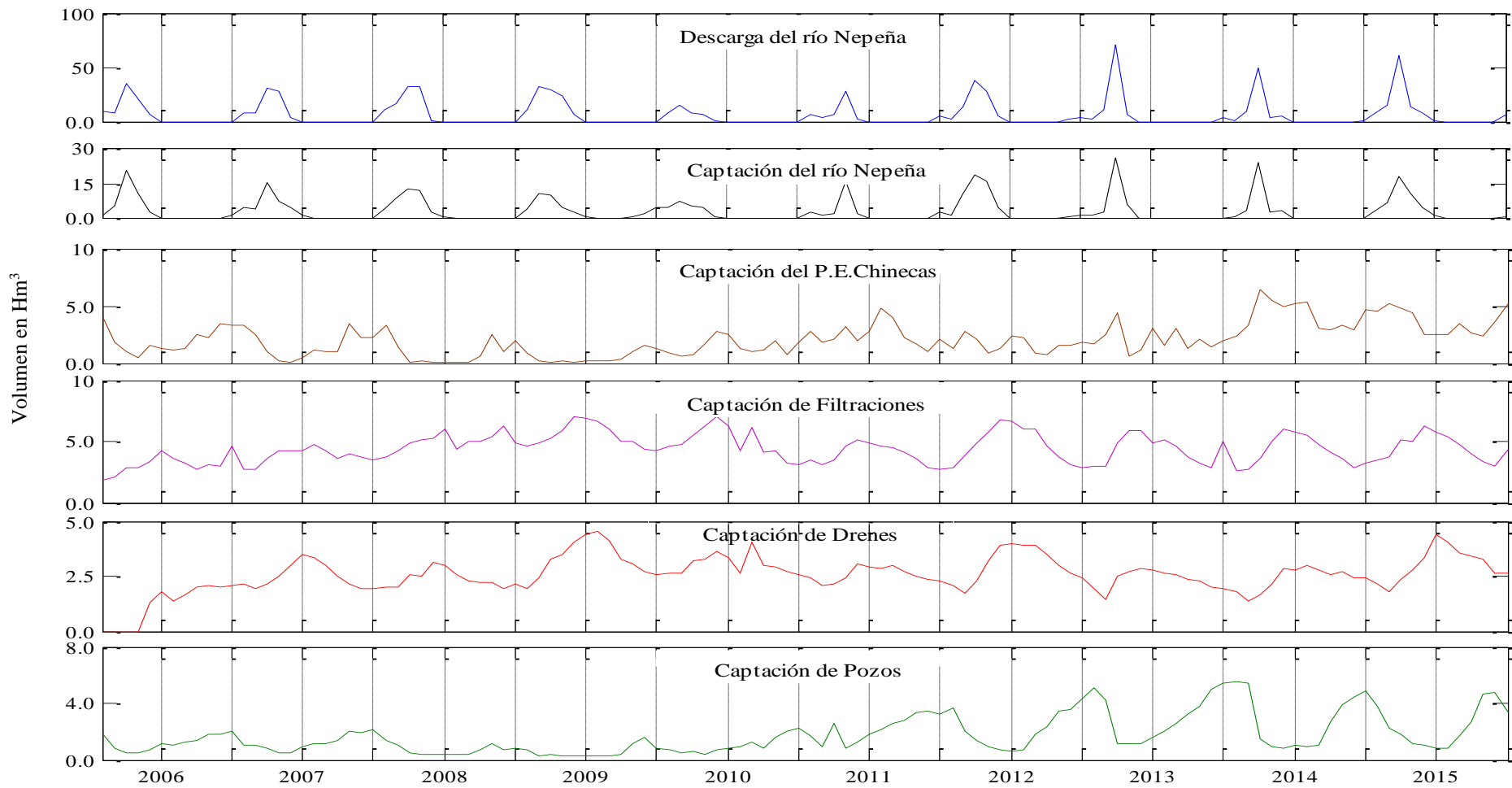


Figura 3.2: Hidrograma mensual del río Nepeña en la Estación Puente Moro, y variación de las captaciones del río Nepeña, Proyecto Especial Chinecas, filtraciones, drenes y pozos de la empresa A.I.S.J, de enero del 2006 a diciembre del 2015

FUENTE: Elaborado con información del departamento de recursos hídricos de A.I.S.J.

Actualmente, en la cuenca se tiene un control hidrométrico diario, realizado por la Junta de Usuarios de Nepeña (J.U.N.) y los usuarios de cada sector. Este control se logra gracias a un equipo de técnicos de la J.U.N. los cuales usan un correntómetro como instrumento de medición.

La empresa A.I.S.J. capta agua en avenidas del río Nepeña, por medio de bocatomas rústicas que suman 27,2 m³/s como capacidad de captación. Este volumen de agua es almacenado en tres reservorios: Motocachy, Campana y Cunchen con una capacidad de almacenamiento de 4,84; 2,04 y 4,83 Hm³, respectivamente.

- b. Aguas subterráneas:** la empresa A.I.S.J., buscando una alternativa para solucionar la escasez de agua superficial, ha invertido en la explotación de aguas subterráneas, contando con 95 pozos tubulares operativos. Como se muestra en la Figura 3.2, la explotación de aguas subterráneas se intensifica o maximiza en la época de estiaje, ya que esta fuente reemplaza la escasez de agua de río. El volumen promedio anual, proveniente de agua subterránea, es de 20,83 Hm³, valor obtenido con la información de enero del 2006 a diciembre del 2015.

Las filtraciones naturales representan una fuente muy importante para la empresa A.I.S.J., aportando un volumen promedio anual de 52,87 Hm³ y gracias a esta fuente se puede cultivar todos los meses del año. El aporte del río Nepeña, en promedio, es solo 81,12 Hm³; sin embargo, es suficiente para recargar el acuífero y dar un gran potencial a las filtraciones naturales.

- c. Aguas de trasvase del río santa:** el Proyecto Especial Chincas (P.E. CHINECAS) está ubicado en la parte nor-este del país. Tiene un área comprendida entre los meridianos 77°50'00'' y 78°41'00'' de longitud oeste y entre las paralelas 8°49'00'' y 9°19'00'' latitud sur, políticamente abarca parte de las provincias de Santa y Casma del departamento de Ancash. En la Figura 3.3 se presenta la ubicación y el área de influencia del proyecto.

El área de influencia directa del P.E CHINECAS son las provincias de Santa y Casma; en la primera involucra los distritos de Chimbote, Nuevo Chimbote, Santa, Nepeña, Samanco y en la segunda los distritos de Casma, Comandante Noel y Buena Vista Alta.

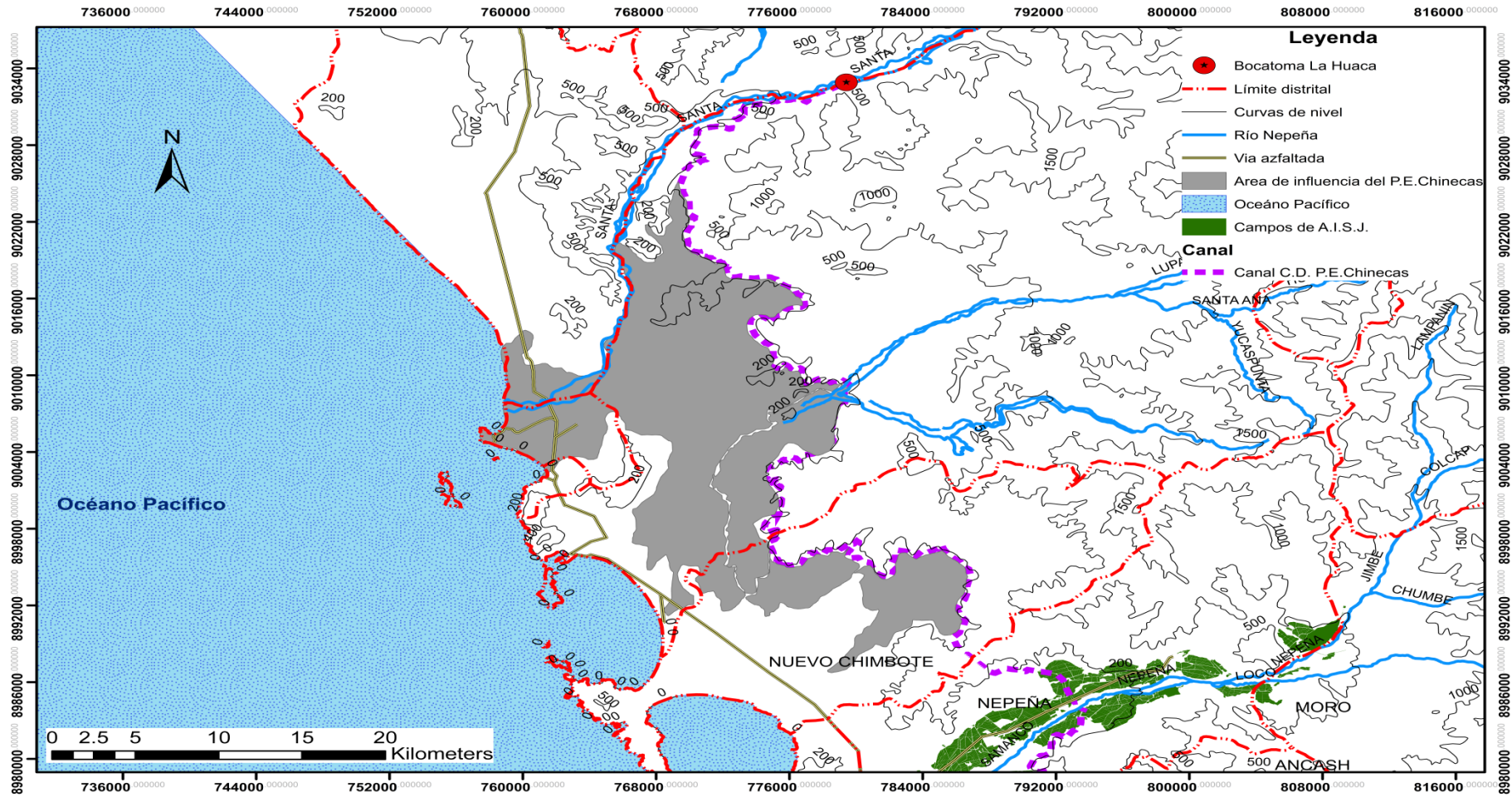


Figura 3.3: Ubicación y área de influencia del Proyecto Especial Chinecas, con bocatoma La Huaca en círculo rojo y el canal de conducción, en línea punteada de color morado

FUENTE: Elaborado con información del proyecto especial Chinecas

Este proyecto es un aporte para el valle Nepeña, donde tiene como principal usuario a la empresa A.I.S.J., el cual cuenta con 4800 ha bajo influencia del proyecto Chincas. El canal de derivación La Huaca-Nepeña del P.E. Chincas atraviesa de manera transversal al valle Nepeña, con diez tomas laterales. El proyecto representa una fuente hídrica muy importante para la empresa San Jacinto, ya que el río Santa no es intermitente y puede ser aprovechado todos los meses del año. Sin embargo, su área de influencia no abarca a todos los campos de cultivo de la empresa, teniendo que usar bombeos para abarcar los campos de mayor altitud.

Actualmente, esta fuente es incierta para los usuarios del valle Nepeña, ya que el proyecto no tiene un plan de manejo de las áreas de mejoramiento, contando con invasores en todo el recorrido del canal. Estos invasores, hoy “poseionarios”, sustraen agua por medio de sifones y motobombas, causando un desbalance en la oferta. Esta problemática se refleja en el caudal inestable que se deriva al valle Nepeña, ya que este se encuentra en la parte final del proyecto. Teniendo como volumen de captación promedio 24,63 Hm³, obtenido con información de enero del 2006 a diciembre del 2015. Además, la infraestructura de este proyecto especial no se encuentra terminada, ya que falta construir el canal que deriva agua de Nepeña a Casma, como originalmente estuvo proyectado. A esto se agrega que existen tres túneles que limitan la capacidad de conducción del canal, teniendo una capacidad de conducción máxima de 32 m³/s y trabaja con solo 22 m³/s.

- d. Agua de drenaje:** el valle Nepeña es considerado un valle seco, por la escasa agua superficial con la que cuenta. Sin embargo, el sistema de drenaje que posee A.I.S.J. ha logrado el aprovechamiento de estas aguas y complementar la demanda requerida por los campos de cultivo. Este tipo de infraestructura realiza un trabajo múltiple como es: drenar los campos, contribuir al lavado de sales y conducir las filtraciones de los riegos por gravedad. La captación de agua de drenaje es factible gracias a la posición geográfica y a la extensión que tiene la empresa azucarera. De esta manera, los riegos del sector con mayor altitud generan flujos subterráneos que regresan al sistema hidráulico superficial, por medio de los drenes. La cantidad de agua que se capta, de manera individual, de esta fuente es muy pequeña, pero al sumar estos caudales se obtiene un volumen importante para la empresa. En la Figura 3.2 se puede observar el volumen captado por esta fuente, presentando un valor promedio 30,92 Hm³.

Para aprovechar de manera eficiente todas estas fuentes y distribuirlo a todos los campos, la empresa cuenta con una infraestructura hidráulica muy amplia y compleja; reservorios, estanques de regulación, bocatomas rústicas, tomas laterales, canales CD, canales de 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} orden, bombeos, compuertas metálicas, puentes, alcantarillas, sifones, pases de concretos, obras de arte, etc. La operación y mantenimiento de esta infraestructura es vital para el manejo adecuado del recurso hídrico en la empresa.

3.1.2. Clima

La empresa A.I.S.J. cuenta con cuatro estaciones meteorológicas distribuidas en los campos, cuya ubicación se muestra en la Figura 3.1. Estas estaciones tienen como finalidad monitorear la velocidad de viento, temperatura mínima y temperatura máxima, humedad relativa, precipitación y evapotranspiración de referencia. En la Tabla 3.2 se presenta las estaciones meteorológicas y sus coordenadas de ubicación.

Tabla 3.2: Coordenadas geográficas UTM de las estaciones meteorológicas de A.I.S.J.

Estaciones meteorológicas	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E (m)	N (m)	
Quisque	804055.69	8985276.31	333
Juan Díaz	792098.81	8986623.55	169
Veta Colorada	787294.18	8977848.93	83
Las dunas	776213.68	8974094.05	12

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

Estas estaciones meteorológicas se encuentran operativas desde el 2011, son automáticas, de la marca Davis y modelo Vantage Pro2. La estación Juan Díaz es la que cuenta con información más completa, ya que se encuentra más cerca de la fábrica y de la población San Jacinto, teniendo mayor supervisión y mantenimiento. Por lo que, su información es usada de referencia para la toma de decisiones en las áreas de campo, cosecha y fabrica.

En la Figura 3.4 se puede observar los valores de la evapotranspiración de referencia que se usó para calcular la demanda agrícola, donde se tiene como valor máximo 5,37 mm/d y como valor mínimo 2,21 mm/d, medidos en la estación Juan Díaz y Veta Colorada, respectivamente.

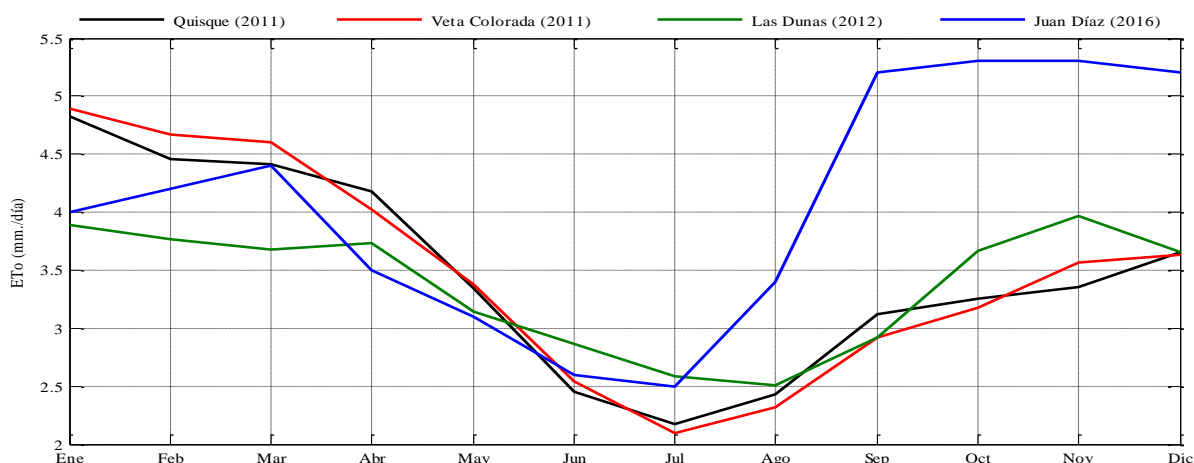


Figura 3.4: Variación mensual de la evapotranspiración de referencia (mm/d) del año crítico para cada estación meteorológica de la empresa A.I.S.J.

FUENTE: Elaborado con información del departamento de sanidad vegetal de A.I.S.J.

3.1.3. Suelo

La empresa azucarera es propietaria de 12.337 ha, pero no todas están aptas para el desarrollo agrícola. Por lo que, actualmente cuenta con 7.000 ha sembradas con caña de azúcar. La textura del suelo predominante es el “franco arenoso” con un 43 por ciento, seguida por la textura “franco” con un 33 por ciento y la textura “arenoso” con un 17 por ciento, como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Distribución porcentual de las texturas de los suelos de A.I.S.J.

Textura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Franco arenoso	3 016.48	43
Franco	2 289.81	33
Arenoso	1 158.12	17
Franco limoso	469.61	7
Franco arcilloso limoso	65.98	1
Total	7 000	100

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

La azucarera realizó un estudio de suelos de todos sus campos, con la finalidad de conocer su composición e identificar los suelos con mayor deficiencia en nutrientes, y así realizar una fertilización direccionada. Para lograr este propósito, levantaron 1.400 muestras de suelo, a una profundidad de 40 cm. Estas muestras fueron analizadas en laboratorio, obteniéndose los siguientes parámetros: porcentaje de arcilla, arena y limo, pH,

conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica, carbonato de calcio, fosforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, calcio, hierro, zinc y manganeso.

En la Figura 3.5 se presentan los resultados de este estudio mediante un gráfico de barras. Para cada parámetro estudiado se ha colocado una barra que representa el 100 por ciento de los suelos analizados, estos se subdividen porcentualmente en colores que pertenecen a un rango de clasificación. Estos rangos se ubican en la parte inferior de la figura e indican la cantidad de cada elemento presente en las muestras.

Como se puede observar en la Figura 3.5, cada barra representa las 1 400 muestras analizadas. Por otro lado, los colores son los rangos de cantidad de los resultados de cada parámetro analizado. Por ejemplo, la primera barra indica que el 41 por ciento de los suelos de A.I.S.J. presentan entre 2 y 4 por ciento de cantidad de materia orgánica y que el 47 por ciento presentan menos de 10 por ciento de cantidad de materia orgánica. También, podemos observar que la mayoría de los campos de A.I.S.J. son ricos en calcio, hierro y manganeso y que el 66 por ciento de los campos de cultivo tiene una ligera alcalinidad, presentando un pH de 7,5 hasta 8. Este análisis de suelos es una gran herramienta para realizar el diseño de abonamiento. En función de las deficiencias y potencialidades de cada campo.

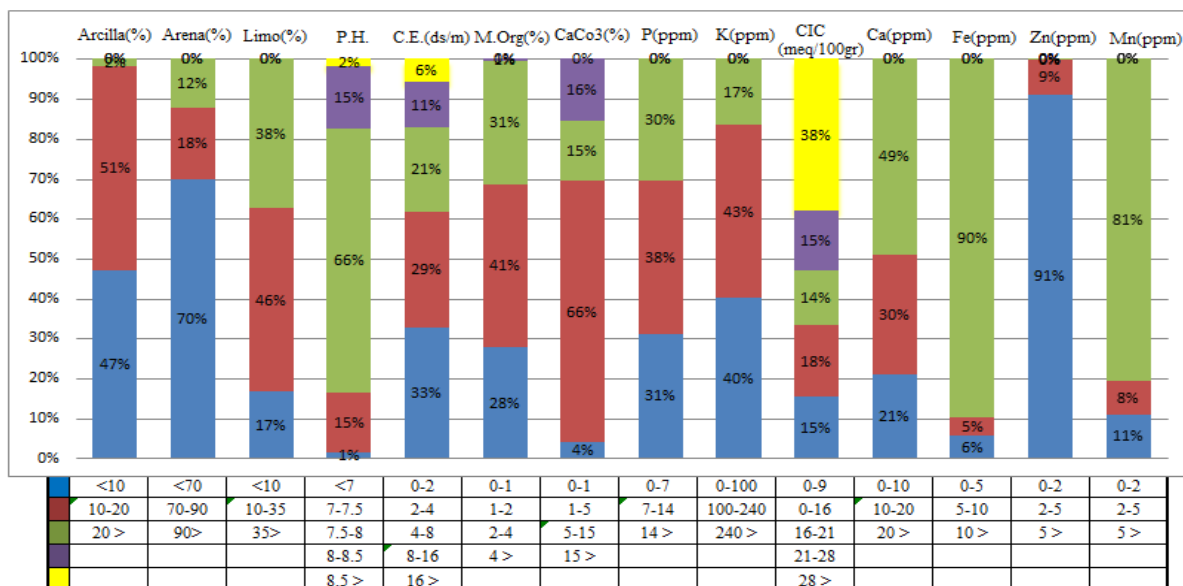


Figura 3.5: Caracterización físico-química de los suelos de la empresa A.I.S.J. en 1400 muestras analizadas que representan el 100 por ciento

FUENTE: Elaborado con información del departamento de fertilización de la empresa A.I.S.J.

3.2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

A continuación, se detalla la descripción de los principales equipos y software utilizados, así como su utilidad para cumplir los objetivos de este trabajo.

3.2.1. Equipos

- Correntómetro: con este instrumento se midió velocidades de flujo en los diferentes canales del sistema de riego de la empresa A.I.S.J.
- GPS: se utilizó para georreferenciar todos los elementos de la infraestructura de riego de la empresa A.I.S.J.
- Estación total: fue necesario para el levantamiento topográfico de los reservorios que son parte de la infraestructura de riego de la empresa A.I.S.J., con la finalidad de calcular sus capacidades de almacenamiento.
- Aforador RBC: fue utilizado para medir caudales menores de 200 l/s en fuentes hídricas como en drenes, filtraciones y pozos.

3.2.2. Herramientas computacionales

- AQUATOOL: fue utilizado como sistema de soporte de decisión para evaluar alternativas que optimicen el sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J.
- Matlab: fue necesario para procesar los resultados y obtener gráficas de mayor calidad.
- AutoCAD: fue utilizado para dibujar todos planos de la empresa A.I.S.J.
- AutoCAD Civil 3D: fue utilizado para calcular la capacidad de almacenamiento de los reservorios.
- Arcgis: se utilizó para generar los planos de ubicación.
- HCANALES: fue utilizado para calcular capacidades de conducción y pérdidas por infiltración en canales abiertos.
- Weatherlink: fue utilizado para descargar la información de las estaciones meteorológicas automáticas de la empresa A.I.S.J.

3.3. METODOLOGÍA

La metodología ha sido agrupada en tres partes, con la finalidad de detallar cada uno de los pasos para lograr los objetivos específicos. En la Figura 3.6 se muestra la secuencia de estos,

diferenciado en tres colores, representando a los tres objetivos específicos planteados inicialmente.

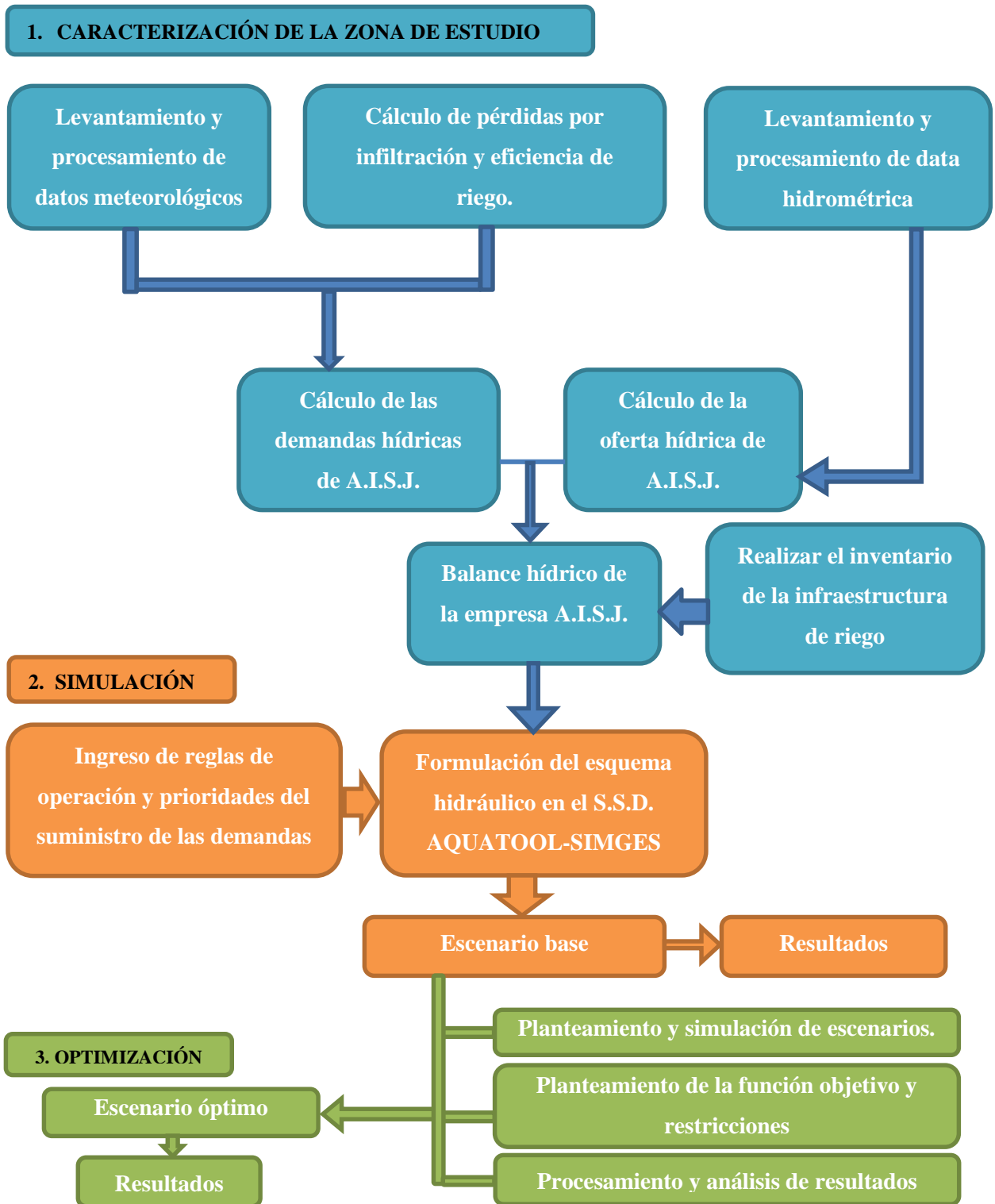


Figura 3.6: Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1. Caracterización de la zona de estudio

- a. Levantamiento y procesamiento de información meteorológica:** esta información fue obtenida de las estaciones meteorológicas de A.I.S.J., como se detalla en el ítem 3.1.2. Las cuales están operativas desde el 2011, siendo el dato de la evapotranspiración de referencia necesaria para el cálculo de la demanda hídrica. Para la simulación del esquema base se ha utilizado los valores promedios mensuales del año con valores máximos, para obtener un escenario crítico. Se eligió años diferentes para cada estación meteorológica, siendo para las estaciones Quisque y Veta Colorada el 2011, mientras que para las estaciones Las Dunas y Juan Díaz, el 2012 y el 2016, respectivamente.
- b. Levantamiento y procesamiento de data histórica de caudales:** el registro histórico, de diez años, de las captaciones de la empresa San Jacinto, asimismo, los caudales promedios mensuales de la descarga del río Nepeña se obtuvieron de la empresa Agroindustrias San Jacinto y la Junta de Usuarios de Nepeña. Estos datos se han presentado en el ítem 3.1.1, con la Figura 3.2. La oferta hídrica de cada sector de riego fue ingresada como un elemento de aportación en el módulo SIMGES del AQUATOOL. Se definió las demandas agrícolas agrupando los campos que estén en una misma área de influencia, respecto a las fuentes hídricas. Por lo que, se tiene nueve sectores de riego que representan a las demandas agrícolas, tal como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Agrupación de los campos de A.I.S.J. en nueve sectores de riego

Sector	Área (ha)
Motocachy	256,33
Quisque	218,97
San Jacinto	354,35
Palenque	652,54
Nepeña	938,91
San José	980,37
Capellanía	621,56
Huacatambo	1016,77
La Capilla	852,26

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

- c. Cálculo de pérdidas por infiltración y eficiencia de riego:** para calcular las pérdidas por infiltración en los canales de conducción, se han realizado aforos al inicio y final de cada canal, con el método del correntómetro, siguiendo el manual de hidrometría del Ministerio de Agricultura (2005). Este dato fue ingresado al módulo SIMGES del

AQUATOOL, en los elementos de conducción tipo 2 que representan a canales no revestidos. Es por eso, que la eficiencia de conducción no fue considerada en el cálculo de la eficiencia de riego, ya que estos elementos absorben estas pérdidas y las conducen al acuífero. Por otro lado, la información de las pérdidas por distribución y aplicación se tomó como referencia la información de la empresa A.I.S.J. y el centro experimental de la empresa azucarera de Casa Grande S.A.A, respectivamente.

En la empresa San Jacinto, se lleva un control de las captaciones en cada sector y el reporte del volumen de cada regador, es decir, se cuenta con el volumen disponible en tomas laterales y el volumen que ingresa a cada parcela. De esta manera, la diferencia de estos volúmenes resulta la pérdida por infiltración y operación en este tramo, siendo este dato utilizado para el cálculo de la eficiencia de distribución. Mientras que, las eficiencias de aplicación se obtuvieron de la estación experimental de Casa Grande, contando con un estudio para calcular la eficiencia de aplicación para cada tipo de textura de suelo, los cuales se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación en los sectores agrícolas de la empresa A.I.S.J.

Sector de riego	Textura	Ef. distribución (%)	Ef. aplicación (%)	Ef. Distrib. x Ef. Aplic. (%)
Motocachy	franco arenoso	61,2	58	35
Quisque	franco arenoso	61,2	58	35
San Jacinto	franco arenoso	61,2	58	35
Palenque	franco arenoso	61,2	58	35
Nepeña	franco arenoso	72,5	58	42
San José	franco	61,2	62	38
Capellanía	franco arenoso	72,5	58	42
Huacatambo	franco arenoso	72,5	58	42
La Capilla	franco arenoso	83,0	58	48

FUENTE: Elaborado con información de A.I.S.J.

- d. Cálculo de las demandas hídricas consuntivas:** Esta demanda es representada por la necesidad hídrica de los campos de cultivo, siendo la cédula de cultivo caña de azúcar, variedad México 73523. Se estimó según su fecha de siembra y fenología del cultivo, representado por el coeficiente de cultivo. En la Figura 3.7 se representa la curva del coeficiente de cultivo (Kc).

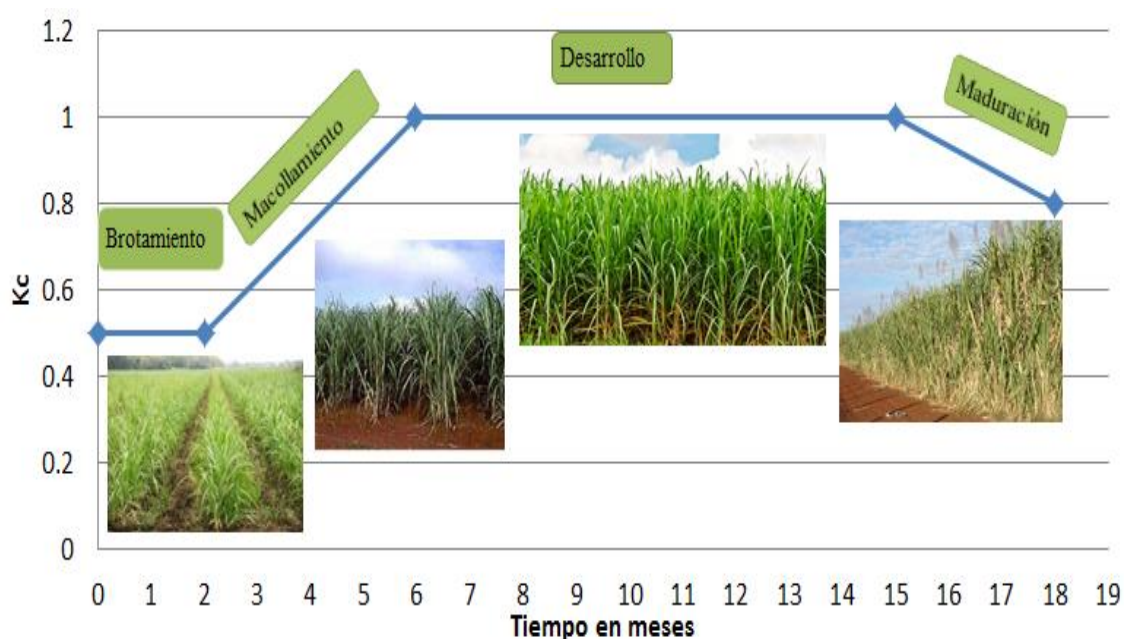


Figura 3.7: Variación de los valores del coeficiente de cultivo (Kc) según las etapas fenológicas de la caña de azúcar

FUENTE: Elaborado con información de Helfgott (2017)

En la Tabla 3.6 se indica con mayor detalle los valores del coeficiente de cultivo empleados en el estudio, detallando valores para caña soca y caña planta, información obtenida de la Estación Experimental Casa Grande (Helfgott, 2017).

Tabla 3.6: Coeficiente de cultivo para diferentes estadios de la caña de azúcar

Período de desarrollo	Plantas	Socas
Inicial (brotamiento)	0,4-0,5	0,4-0,5
Macollamiento	0,7-1,2	0,7-1,2
Desarrollo	0,8-1,0	0,7-1,1
Maduración	0,8	0,8

FUENTE: Helfgott (2017)

Cada sector de la empresa A.I.S.J. tiene campos de caña de azúcar con diferentes edades o etapas de desarrollo, es decir, diferentes valores de Kc. Por lo que, se empleó un Kc ponderado respecto al área del cultivo con la misma edad para calcular la demanda hídrica. En la Figura 3.8 se muestra el inicio de cada periodo vegetativo en cada uno de los sectores de riego, asimismo, el periodo de agoste y cosecha.

También, se puede observar que el periodo de agoste varía de uno a tres meses. Este periodo tiene como finalidad la acumulación de sacarosa en los tallos, realizando una

correcta maduración. En este tiempo se suspenden todos los riegos, dejando secar al cultivo. El tiempo de agoste se define por la capacidad de retención de los suelos, clima, estado del cultivo antes del agoste y la variedad.

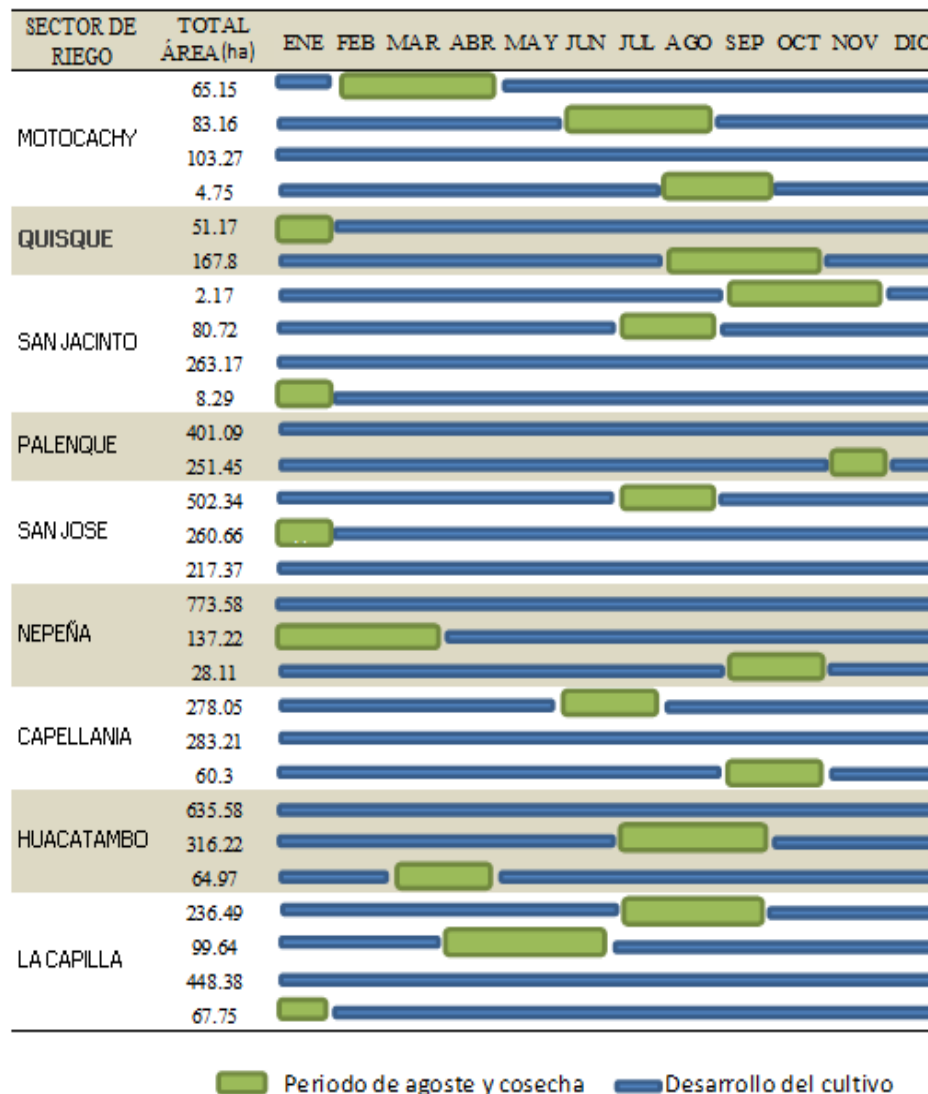


Figura 3.8: Inicio del periodo vegetativo, periodo de agoste y cosecha del cultivo de caña de azúcar en cada uno de los sectores de riego

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

Finalmente, la demanda hídrica del cultivo en cada sector de riego se ha calculado por medio de la siguiente fórmula (Allen *et al.*, 2006):

$$\text{Demanda hídrica mensual} = 10 \cdot ((E_{To} \cdot K_c) - P_p) \cdot D \cdot A / E_r$$

Donde, E_{To} es la evapotranspiración de referencia en mm/d, 10 es un factor para transformar las unidades de la E_{To} (de mm/d a $m^3/ha\text{-día}$), K_c es el coeficiente de cultivo,

P_p es la lámina (mm) de precipitación acumulada en un día, D es el número de días del mes, A es el área total menos el área de agoste del sector de riego y E_r es la eficiencia de riego de la Tabla 3.5. Para obtener un escenario más crítico, no se consideró la precipitación acumulada.

- e. **Calculo de la demanda hídrica no consuntiva:** Respecto a esta demanda hídrica, se consideró todos los procesos que realiza la fábrica para la elaboración de azúcar y derivados. En la Figura 3.9 se puede observar cada proceso con su caudal requerido, siendo el total 500 l/s. Esta cantidad de agua es distribuida para lavado de caña, elaboración de azúcar y generación de energía.

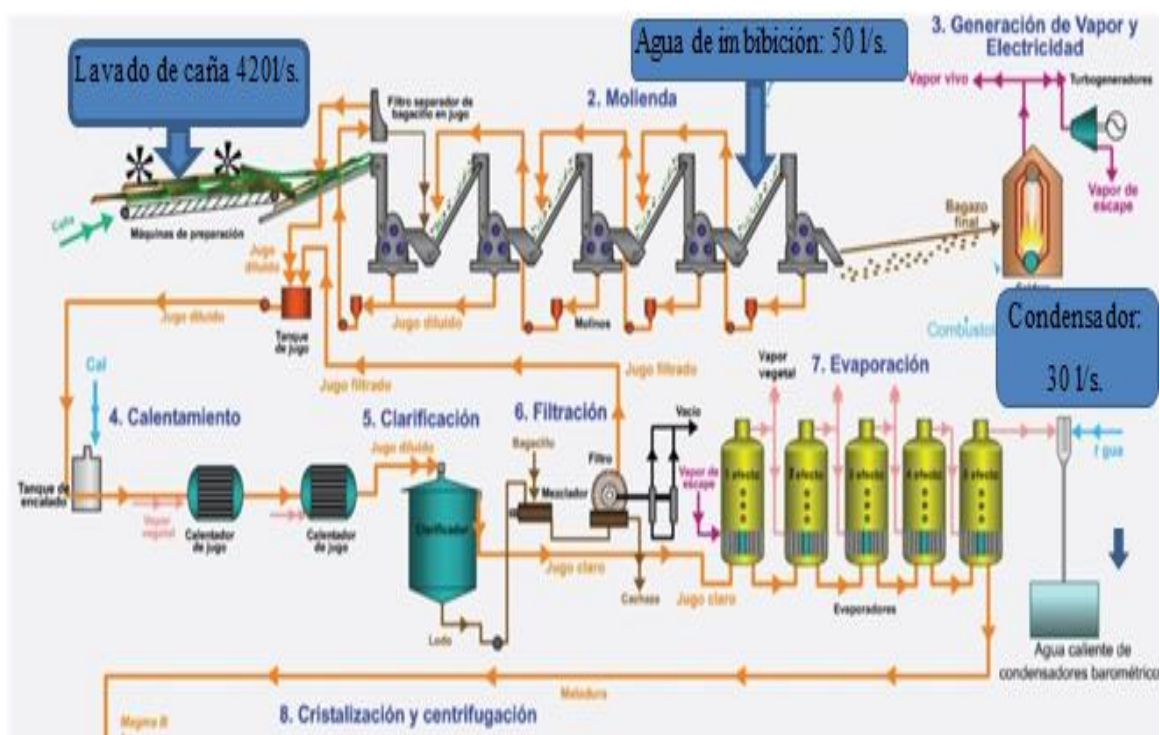


Figura 3.9: Diagrama de flujo de los procesos en la fabricación de azúcar

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

- f. **Inventario de la infraestructura hidráulica de la empresa A.I.S.J.:** Para la formulación del esquema base en el módulo SIMGES del AQUATOOL, fue necesario contar con el inventario de la infraestructura hidráulica y el esquema de la red de flujo. El levantamiento de la información de campo se realizó con un equipo de estación total, formatos de inventario del MINAGRI (2015), un GPS y una wincha. Este trabajo tuvo la finalidad de inventariar todos los elementos de la infraestructura de riego, georreferenciarlos y dimensionarlos. De esta manera, se obtuvo el inventario general de

la infraestructura de riego mayor y menor de la empresa A.I.S.J. y las capacidades hidráulicas de los reservorios y canales.

3.3.2. Simulación del sistema de recursos hídricos

a. **Formulación del esquema hidráulico en el S.S.D. AQUATOOL-SIMGES:** En la Figura 3.10, se presenta el esquema hidráulico, de manera resumida, de la empresa azucarera, el cual fue utilizado como guía para la formulación del escenario base en el módulo SIMGES del AQUATOOL.

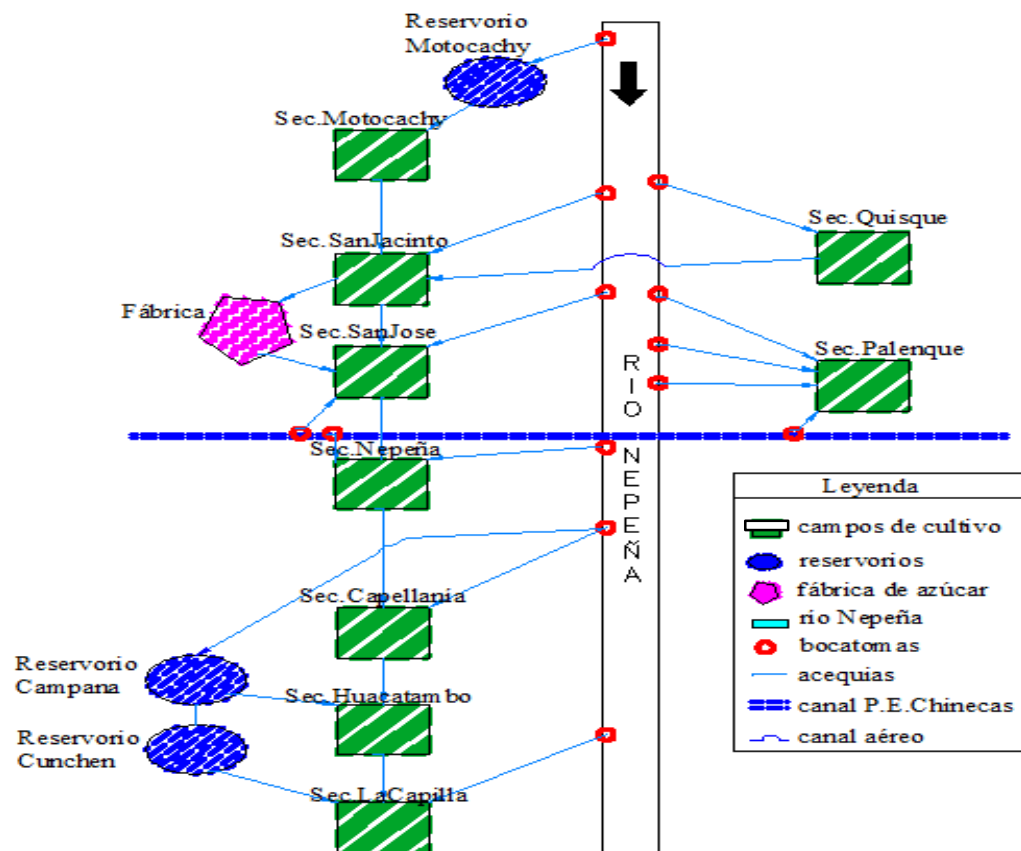


Figura 3.10: Esquema hidráulico por sector de riego de la empresa A.I.S.J.

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

Con la información descrita, se desarrolló el esquema hidráulico de la empresa A.I.S.J. en el módulo SIMGES del AQUATOOL, iniciando con la creación de los nudos, seguida de las aportaciones, conducciones, demandas consuntivas y no consuntivas, reservorios y acuífero, tal como se indica en el manual del usuario del módulo SIMGES. Esta topología fue complementada con la información hidrométrica de aportaciones.

- **Demandas hídricas consuntivas:** representa a las demandas hídricas de los nueve sectores de riego, estos elementos se definieron con los valores mensuales de la demanda hídrica, la eficiencia de riego y la prioridad de suministro.
- **Demandas hídricas no consuntivas:** representa a la demanda hídrica de la fábrica, este elemento se definió con los valores mensuales de la demanda hídrica y la prioridad de suministro.
- **Reservorios:** estos elementos quedaron definidos con sus capacidades de almacenamiento, curva área/volumen/altura y curva de volumen objetivo.
- **Acuífero:** representa al acuífero Nepeña y quedó definido con los volúmenes mensuales de explotación para cada uno de los sectores de riego. Siendo este volumen, la oferta hídrica de pozos de cada sector de riego.
- **Conducciones:** estos elementos quedan definidos con su capacidad de conducción máxima, mínima y una curva de pérdidas por infiltración en función al caudal conducido. En el caso de los canales, en el ítem 3.3.1 (c) se detalla cómo se obtuvo esta información. Sin embargo, también se ha considerado las pérdidas por infiltración en los tramos de río, por lo que, se ha utilizado el software HCANALES (Figura 3.11) el cual tiene una opción para calcular la infiltración en canales abiertos.

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Área hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Etcheverry | Punjab | Moritz |
Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Material del lecho del canal:

Hormigón de 10 cm de espesor

Hormigón de 10 cm de espesor

Arcilla de 15 cm de espesor

Enlucido de cemento de 2.5 cm

Suelo arcilloso

Suelo franco arcilloso

Suelo franco

Suelo franco arenoso

Suelo arcillo limoso

Ingham	<input type="checkbox"/>	Ingham
Etcheverry	<input type="checkbox"/>	Etcheverry
Punjab	<input type="checkbox"/>	Punjab
Moritz	<input type="checkbox"/>	Moritz
Pavlovski	<input type="checkbox"/>	Pavlovski
Kostiaikov	<input type="checkbox"/>	Kostiaikov
Davis-Wilson	<input type="checkbox"/>	Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³s⁻¹km

Canales revestidos

Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Figura 3.11: Plantilla de estimación de la infiltración en canales abiertos del software HCANALES

FUENTE: HCANALES, versión 3.0

Este software necesita como datos: longitud, pendiente, ancho, coeficiente de rugosidad, caudal y tipo de material, información que se detalla en la Tabla 3.7. Estas características geométricas, se obtuvieron mediante un levantamiento topográfico. Por otro lado, el coeficiente de rugosidad de Maninng se obtuvo comparándolas con las imágenes de Barnes (1849).

Con esta información se logró calcular las pérdidas por infiltraciones en los cauces del río Nepeña, en el ámbito de la empresa azucarera. Sin embargo, para obtener la curva deseada por el módulo SIMGES se calculó las pérdidas por infiltración con diferentes caudales.

Tabla 3.7: Características de los tramos de río ingresados en módulo SIMGES del AQUATOOL

N° de tramos	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (%)	Caudal (m ³ /s)
1	7,9	30	1,7	0-80
2	5,23	35	1,3	0-80
3	4,5	65	1,4	0-80
4	4,5	30	1	0-80
5	4,8	60	2	0-80
6	12,6	100	0,7	0-80

FUENTE: Elaboración propia

Para realizar la comparación, se elaboró un panel fotográfico a cada tramo del río Nepeña, en el ámbito de la empresa A.I.S.J. Como se puede observar en la Figura 3.12, se logró calcular el coeficiente de rugosidad en cada tramo de río. Se tiene valores que varían desde 0,026 hasta 0,06, ya que se puede encontrar diverso material en el cauce de río, teniendo desde roca hasta arena fina.

- **Factor de consumo en las demandas:** este parámetro es la eficiencia de riego explicado en ítem 3.3.1(c).
- **Período de simulación:** fue definido por la disponibilidad de información hidrométrica de las fuentes hídricas, resultando un período de diez años, del 2006 al 2015.

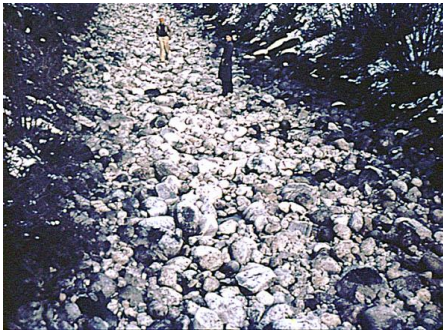

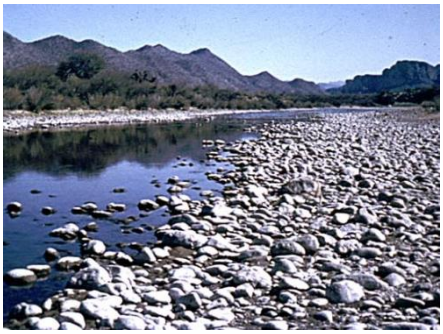





Tipo de cauce y "n"	USGS Water supply paper 1849	Río Nepeña
<p>Tramo I: Cauce con rocas > 0,5 m.</p> <p>n = 0,06</p>		
<p>Tramo II: Cauce con piedra < 0,2 m.</p> <p>n = 0,032</p>		
<p>Tramo III: Cauce con material conglomerado</p> <p>n = 0,024</p>		
<p>Tramo IV: Cauce con material fino y vegetación en los bordes</p> <p>n = 0,038</p>		

Figura 3.12: Coeficientes de rugosidad de Manning (n) en el cauce del río Nepeña

FUENTE: Elaborado con información de campo y fotografías de Barnes (1849)

b. Ingreso de las reglas de operación y prioridades de suministro de la demanda

hídrica: Para lograr la representatividad de la realidad, se ingresaron valores de prioridad a cada demanda hídrica del esquema, definiendo con alta prioridad a las demandas que se encuentran en la cota más alta. De esta manera, primero serán satisfechos los campos que estén a mayor altitud y luego se derivará el recurso hídrico a zonas bajas. Por otro lado, se colocó como máxima prioridad a la demanda hídrica no consuntiva que representa a la fábrica, ya que debe ser atendida en forma permanente. Respecto a las reglas de operación en los embalses, no se ingresó ninguna para que el modelo encuentre la regla de operación más conveniente, que optimice la distribución del recurso hídrico.

SIMGES realizó la simulación del sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera, con toda la información definida (descrita en los párrafos anteriores). Este modelo suministra el recurso hídrico a todas las demandas definidas, teniendo en cuenta las prioridades ingresadas y las condiciones físicas impuestas. Además, cuenta con un algoritmo de optimización de costo de flujo, por lo que intentará cubrir al máximo todas las demandas minimizando los costos.

c. Planteamiento de escenarios: se planteó 23 escenarios, siendo cada uno de ellos la representación de la ejecución de un proyecto de inversión. Los cuales, tienen una viabilidad técnica y la finalidad de mejorar el sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J.

- **Escenario 1:** la empresa A.I.S.J. tiene la opción de incursionar en la agroexportación, por ello, se propone cambiar de cultivo por uno de menor consumo hídrico, siendo el cultivo de mango una alternativa el cual tiene un K_c de 0,75 (Mora *et al.*, 2002).
- **Escenario 2:** el sector Palenque con cultivo de mango.
- **Escenario 3:** construcción de un reservorio de 2 Hm^3 , uno de los lugares más apropiados para construir un nuevo reservorio en la empresa A.I.S.J., es debajo del canal Chinecas, fuente hídrica de disponibilidad constante.
- **Escenario 4:** para llenar el reservorio Campana se conduce agua por el canal Pañamarca, el cual tiene una capacidad de $7 \text{ m}^3/\text{s}$ y una longitud de 5,6 km, existiendo

altas pérdidas por infiltración. Por tal motivo, se propone su revestimiento, eliminando estas pérdidas y aumentando la velocidad de conducción.

- **Escenario 5:** el embalse Motocachy asegura la dotación de agua a la fábrica por medio de un canal de tierra, que tiene una longitud de 6,2 km y una capacidad de 500 l/s. Se propone revestirlo.
- **Escenario 6:** el 85 por ciento del agua captada del P.E. Chincas es por la toma 18 y es conducida por un canal rústico para distribuirlo entre los sectores de riego. Este canal, en promedio, conduce 3,5 m³/s, durante 12 horas al día. Además, recorre una longitud 7,5 km, existiendo altas pérdidas por infiltración. Este escenario propone su revestimiento, eliminando las pérdidas por infiltración y aumentando la velocidad de recorrido del agua.
- **Escenario 7:** los embalses Campana y Cunchen sirven principalmente para almacenar agua para el sector La Capilla, trasvasando agua por medio del canal Cunchen, que tiene una longitud de 4,6 km y una capacidad de 1 m³/s; además, cuenta con baja pendiente, lo que provoca el estancamiento y aumento de las pérdidas por infiltración. Para eliminar este problema, se propone el revestimiento de este canal.
- **Escenario 8:** la empresa A.I.S.J. cuenta con dos pivotes de eje central, los cuales se encuentran operativos dando resultados sostenibles. Además, se considera que el riego por pivote circular tiene una eficiencia de riego que alcanza hasta el 80 por ciento. Por ello, para disminuir la demanda hídrica del sector Motocachy, este escenario propone instalar pivotes centrales en toda el área.
- **Escenario 9:** se plantea implementar una tecnología de tratamiento y recirculación de agua, para lograr disminuir la demanda hídrica de la fábrica que es muy alta comparándola con otros ingenios. Actualmente, el ingenio tiene una demanda hídrica de 500 l/s; se considera disminuirla a 300 l/s.
- **Escenario 10:** del mismo modo que en el Escenario 8, se propone cambiar el sistema de riego para aumentar la eficiencia. En este caso, la eficiencia de riego aumentaría a 90 por ciento.
- **Escenario 11:** el sector Palenque con riego por pivote central.

- **Escenario 12:** el sector Palenque con riego por goteo.
- **Escenario 13:** una de las formas de eliminar las pérdidas por infiltración en la distribución de riego, es utilizando las mangas de polietileno. La empresa San Jacinto tiene algunas hectáreas instaladas con este material y se observan buenos resultados, por ello, se propone la instalación de todo un sector, con la finalidad de eliminar por completo estas pérdidas. En este escenario se considerará una eficiencia de riego, sin considerar la eficiencia de conducción, del 60 por ciento, información facilitada por el departamento de recursos hídricos de la empresa azucarera Casa Grande.
- **Escenario 14:** para aumentar la eficiencia en la distribución también se pueden utilizar sifones de tuberías de PVC, forma de regar que aún no practica la empresa A.I.S.J. Sin embargo, otras azucareras, tales como: Casa Grande sí lo hacen, teniendo como dato de eficiencia de riego, sin considerar la eficiencia de conducción, del 50 por ciento. Por lo cual, este escenario propone la instalación de sifones, en todo el sector.
- **Escenario 15:** el sector Huacatambo con riego por pivote.
- **Escenario 16:** sector Huacatambo con riego por goteo.
- **Escenario 17:** en el sector La Capilla existen drenes con un buen comportamiento hidráulico, los que confluyen en la parte baja del sector. Se propone bombear de esta fuente hasta la cabecera del sector de riego, un caudal de 100 l/s.
- **Escenario 18:** el sector La Capilla con riego por mangas.
- **Escenario 19:** el sector La Capilla con riego por sifones.
- **Escenario 20:** los reservorios Campana y Cunchen tienen condiciones topográficas para elevar los diques e incrementar su volumen de almacenamiento. Por lo cual, se propone un mejoramiento para aumentar su volumen de almacenamiento a 2,5 y 5,3 Hm³, respectivamente.
- **Escenario 21:** el reservorio Motocachy tiene una infiltración promedio anual de 2 Hm³, representando una pérdida económica para la empresa. Por ello, se propone impermeabilizar el vaso del reservorio con material fino.

- **Escenario 22:** el sector Quisque con riego por mangas.
- **Escenario 23:** el sector Quisque con riego por sifones.

En la Tabla 3.8 se muestra el resumen de todos los escenarios con su principal característica y el costo que tendría que afrontar la empresa azucarera para llevarlo a la realidad.

Tabla 3.8: Características principales de los 23 escenarios planteados para la optimización del sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera A.I.S.J.

Escenario	Elemento	Descripción	Variable de cambio	Costo MM US\$
1	Sector Motocachy	Cambio de cultivo a mango	$K_c = 0,75$	1,538
2	Sector Palenque	Cambio de cultivo a mango	$K_c = 0,75$	3,915
3	Reservorio	Regulación de P.E. CHINECAS	$V = 2 \text{ Hm}^3$	0,6
4	Canal Pañamarca	Revestimiento del canal	Infiltración	2,8
5	Canal salida de R. Motocachy	Revestimiento del canal	Infiltración	0,782
6	Canal integrador 18	Revestimiento del canal	Infiltración	3,5
7	Canal Cunchen	Revestimiento del canal	Infiltración	0,28
8	Sector Motocachy	Sistema de riego por pivote	$E_r = 80\%$	0,692
9	Fábrica	Reducir demanda	$Q = 300 \text{ l/s}$	5,0
10	Sector Motocachy	Sistema de riego por goteo	$E_r = 90\%$	0,96
11	Sector Palenque	Sistema de riego por pivote	$E_r = 80\%$	1,741
12	Sector Palenque	Sistema de riego por goteo	$E_r = 90\%$	2,445
13	Sector Palenque	Sistema de riego por mangas	$E_a * E_d = 60\%$	0,391
14	Sector Palenque	Sistema de riego por sifones	$E_a * E_d = 50\%$	0,326
15	Sector Huacatambo	Sistema de riego por pivote	$E_r = 80\%$	2,743
16	Sector Huacatambo	Sistema de riego por goteo	$E_r = 90\%$	3,810
17	Rebombeo La Capilla	Bombeo de aguas de drenaje	$Q = 100 \text{ l/s}$	0,250
18	Sector La Capilla	Sistema de riego por mangas	$E_a * E_d = 60\%$	0,511
19	Sector La Capilla	Sistema de riego por sifones	$E_a * E_d = 50\%$	0,426
20	Reservorios Campana y Cunchen	Incremento del almacenamiento	$\Delta V = 0.5 \text{ Hm}^3$	0,337
21	Reservorio Motocachy	Impermeabilización del vaso	Infiltración	0,350
22	Sector Quisque	Sistema de riego por mangas	$E_a * E_d = 60\%$	0,186
23	Sector Quisque	Sistema de riego por sifones	$E_a * E_d = 50\%$	0,109

FUENTE: Elaborado con información de campo

d. Procesamiento y análisis de resultados: cada uno de los escenarios fue simulado en el módulo SIMGES, realizando los cambios en el esquema base de la empresa azucarera. Este trabajo tuvo el propósito de conocer los resultados de la implementación de cada proyecto, respondiendo a la pregunta ¿Qué pasa si?, además, obtener la reducción del déficit hídrico.

El volumen ganado se convertirá en un beneficio económico ya que se dejará de pagar un volumen de agua. Además, al contar con más agua la producción de caña de azúcar aumentará lo que representa mayor rentabilidad. El periodo de análisis de los beneficios será de cinco años excepto los proyectos de cambio de cultivo que será de diez años.

El costo unitario del agua de riego por gravedad para la empresa azucarera es de 0,02 soles/m³, mientras que la relación entre el agua y la producción de caña de azúcar es de 100 Tn/m³. Para convertir las toneladas de caña de azúcar a bolsas de azúcar de 50 Kg se tiene que la relación es de 2,5 bolsas/Tn y que la utilidad por cada bolsa es de 15 dólares (AISJ, 2013).

Se realizó un primer análisis para agrupar los escenarios que tienen influencia en un mismo sector de riego, con la finalidad de identificar al escenario más rentable dentro de los demás. Al contar con el beneficio económico de cada escenario, se pudo analizar la relación beneficio-costos para identificar a los viables (≥ 1), en términos económicos, asegurando los beneficios de cada inversión. Luego, utilizando este mismo indicador económico se eligió a los más rentables en cada zona, ya que algunos proyectos no pueden coexistir.

3.3.3. Optimización del sistema de recursos hídricos

- a. **Función objetivo:** los proyectos restantes entraron en el proceso de optimización con la siguiente función objetivo:

$$\text{Maximizar: } F.O. = \sum_{i=1}^n X_i B_i$$

Donde, X_i es el proyecto de inversión que pertenece al subconjunto de n proyectos que maximizan los beneficios económicos de la empresa y toma valores de 0 o 1, cuando toma el valor de cero quiere decir que el proyecto no es seleccionado y uno cuando sí lo es, B_i es el beneficio económico de cada proyecto de inversión del subconjunto n .

- b. **Restricciones:** se tienen dos, el primero es el número de proyectos ya que solo se cuentan con 23 que tienen viabilidad técnica. El segundo, es que el presupuesto anual para proyectos de inversión de la empresa azucarera es de 2 millones de dólares, por lo que se tiene:

$$\sum_{i=1}^n X_i C_i \leq 2 \text{ MM US\$}$$

Donde, X_i es el proyecto de inversión que pertenece al subconjunto de n proyectos que maximizan los beneficios económicos de la empresa y toma valores de 0 ó 1, cuando toma el valor de cero quiere decir que el proyecto no es seleccionado y uno cuando sí lo es, C_i es el costo económico de cada proyecto de inversión del subconjunto n .

Siendo este el clásico problema de la mochila, es un problema de optimización y se puede resolver por programación lineal simple. En este trabajo se utilizó la herramienta Solver del Excel para encontrar el subconjunto que maximice los beneficios pero que cumpla con las restricciones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

a. **Análisis de la información meteorológica:** en la Figura 4.1 se presenta la variación mensual de la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa, velocidad de viento y evapotranspiración de referencia, estimadas en la estación meteorológica Juan Díaz. Los registros de las estaciones Quisque, Veta Colorada y Las Dunas no se encuentran completas, debido a la falta de mantenimiento y cuidado de ellas.

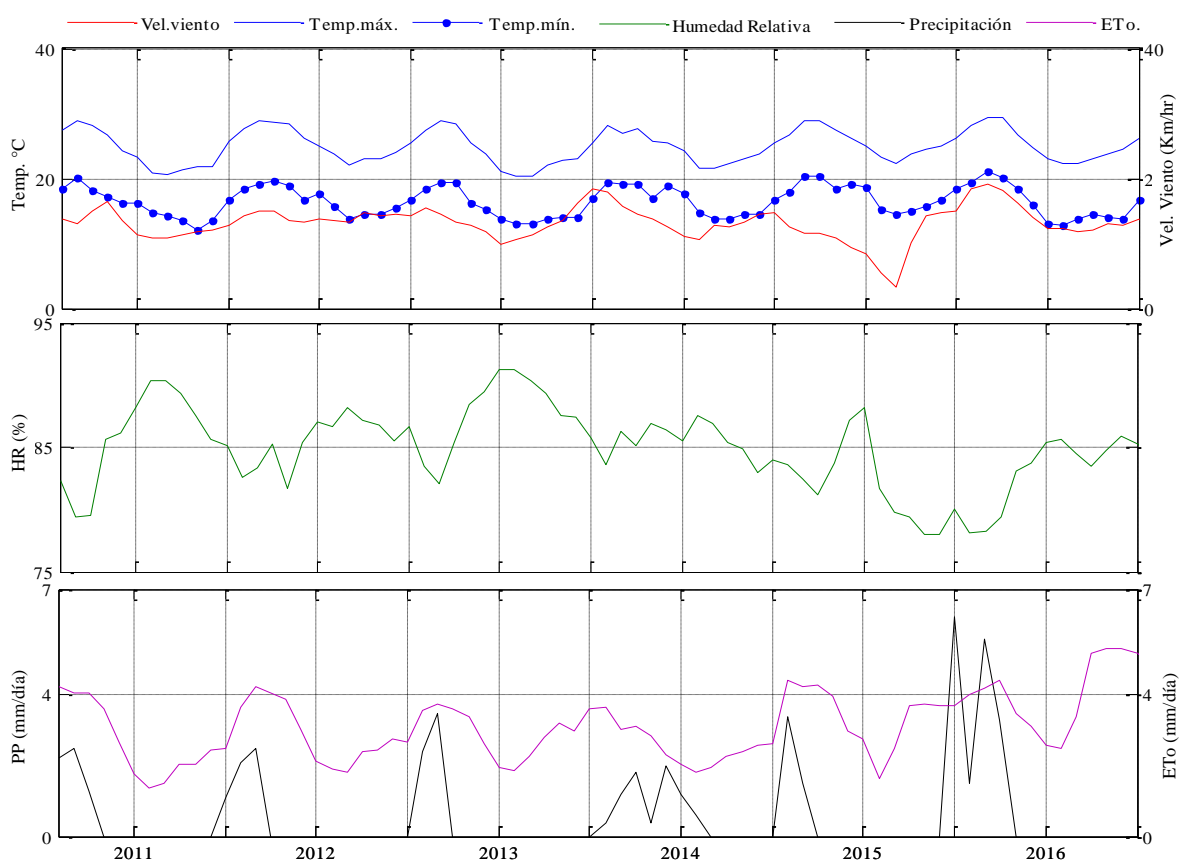


Figura 4.1: Variación mensual de la temperatura, velocidad de viento, humedad relativa, precipitación y la evapotranspiración de referencia de la estación meteorológica Juan Díaz. Periodo de información: enero del 2011 a diciembre del 2016

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

- **Temperatura:** como se puede observar en la Figura 4.1, la temperatura máxima, registrada entre el 2011 y 2016, varía de 28,7 a 21,6 °C y la temperatura mínima de 19,9 a 13,9 °C. Esta información es usada para evaluar la fluctuación de los índices de población de plagas y enfermedades, definir horarios de liberación de controladores biológicos en campo, monitorear el porcentaje de sacarosa, entre otros. Por ejemplo, la plaga clave de la empresa A.I.S.J. es *Diatraea saccharalis* cuyo controlador biológico es *Billaea claripalpis*, esta mosca es liberada en campo entre las temperaturas 13 y 27 °C para asegurar la sobrevivencia de la población y realizar un control biológico efectivo.
- **Humedad relativa:** es otro parámetro monitoreado con la estación meteorológica Juan Díaz, donde se ha registrado valores promedio que varían de 87,6 por ciento, en junio, hasta 82 por ciento, en febrero, tal como se muestra en la Figura 4.1, resultando como promedio una humedad relativa de 84,9 por ciento.
- **Velocidad de viento:** se ha reportado una velocidad promedio máxima mensual de 15,4 km/hr en enero y 10,6 km/hr en julio y agosto. Este parámetro es usado para definir horas y dirección de quema en la cosecha. Además, para definir las áreas y horarios de las aplicaciones químicas pulverizadas.
- **Precipitación:** en la Figura 4.1 se puede observar que la precipitación acumulada en el mes no supera 6,2 milímetros, es decir no hay precipitaciones importantes en el sector.
- **Evapotranspiración de referencia:** una de las facilidades que tienen las estaciones meteorológicas de la empresa azucarera, es la de estimar la evapotranspiración de referencia, usando los parámetros antes descritos.

b. Preparación de información requerida por el módulo SIMGES del AQUATOOL

- **El inventario de infraestructura mayor y menor de riego:** este trabajo se realizó con la finalidad de representar el esquema hidráulico de la empresa azucarera con el mayor detalle posible. El resumen del inventario se muestra en la Tabla 4.1, sin embargo, los inventarios de reservorios, canales y pozos se presentan en el ANEXO 1 (Tablas 1.1-1.3).

En el inventario de canales de conducción, se puede resaltar que el 100 por ciento son de tierra, existiendo pérdidas por infiltración. Además, son usados únicamente en la época de avenida, es decir, menos de 3 meses.

Tabla 4.1: Resumen del inventario de la infraestructura mayor y menor de riego

Infraestructura	Cantidad (und.)	Total
Canales CD	53	106,13 Km
Canales Laterales	54	53,23 Km
Reservorios	3	11,60 Hm ³
Estanques nocturnos	39	0,72 Hm ³
Drenes superficiales	97	95,78 Km.
Drenes entubados	50	20,80 Km.
Pozos	95	3554,90 l/s.
Bocatomas	15	27,2 m ³ /s.
Partidores	83	-
Compuertas	172	-

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

Respecto al inventario de canales laterales, se ha identificado que solo el 14,2 por ciento del total se encuentran revestidos, teniendo que el 85,8 por ciento son canales de tierra que son usados de forma permanente y disminuyen la eficiencia de riego por las pérdidas de infiltración. Este 14,2 por ciento de canales revestidos, son representados por el L1 San Jacinto, L1 Palenque-Veta Blanca, L1 Chimba-Palenque, L2 San Ignacio y L2 Santa Rosa.

Existen 15 bocatomas rústicas, construidas con material de cauce del río Nepeña, por lo que son reconstruidas todos los años después de la época de avenidas. Estas bocatomas suman una capacidad de captación de 27,2 m³/s.

En cuanto a la regulación, existen tres reservorios y 39 estanques de regulación, con una capacidad de almacenamiento de 12,32 Hm³. Se precisa que el 100 por ciento de los estanques de regulación no cuentan con ningún impermeabilizante, es decir, son de tierra.

Por otro lado, es importante resaltar que la empresa azucarera cuenta con 180 pozos. Sin embargo, solo 95 se encuentran operativos y en funcionamiento. Estos tienen un caudal promedio de 37,4 l/s. y un caudal disponible de 3,56 m³/s.

En la Tabla 4.1 se observa que el total de los drenes suman 116,58 km de longitud. El 85 por ciento se encuentra en la parte baja del valle, ya que en esta zona los niveles freáticos están muy elevados y no es posible alguna actividad agrícola. El ancho promedio de los drenes superficiales es 6 m, cuentan con un camino de servicio de 4 m y suman una longitud de 95,78 km, lo que representa un área inactiva, sin producción agrícola, de 95,78 ha.

- **Demanda hídrica por sector de riego:** con los datos recopilados y el procesamiento descrito en el ítem 3.3.1, se logró estimar la demanda anual de la empresa A.I.S.J., detallado por sector de riego. En la Figura 4.2 se puede observar que los sectores con mayor y menor demanda hídrica son San José y Motocachy, respectivamente. Mientras que el primero tiene una demanda anual promedio de 33,32 Hm³, el segundo solo 8,05 Hm³. Además, que la demanda mensual de la empresa varía de 17,87 a 9,3 Hm³, correspondiente a enero y julio, respectivamente. Estos valores responden al comportamiento de la evapotranspiración de referencia obtenida de las estaciones meteorológicas y por la reducción de área, ya que se ha considerado el tiempo de agoste en el cultivo de la caña de azúcar. En resumen, la empresa azucarera tiene una demanda hídrica, en los campos de cultivo de caña de azúcar, regados por gravedad, de 174,97 Hm³ al año.

4.2. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

- Formulación del esquema hidráulico en el módulo SIMGES:** Mediante el esquema de flujo y el inventario de la infraestructura mayor y menor de riego, se logró formular el esquema base en el módulo SIMGES, presentado en la Figura 4.3. En la cual, se observan todos los elementos de la infraestructura hidráulica, cumpliendo con todas las funciones de cada elemento en la realidad. Sin embargo, la fábrica tuvo que ser representada por una central hidroeléctrica, ya que es la única opción con la que cuenta el módulo. No obstante, este elemento cumple la función de una demanda no consuntiva, que es lo que se desea.

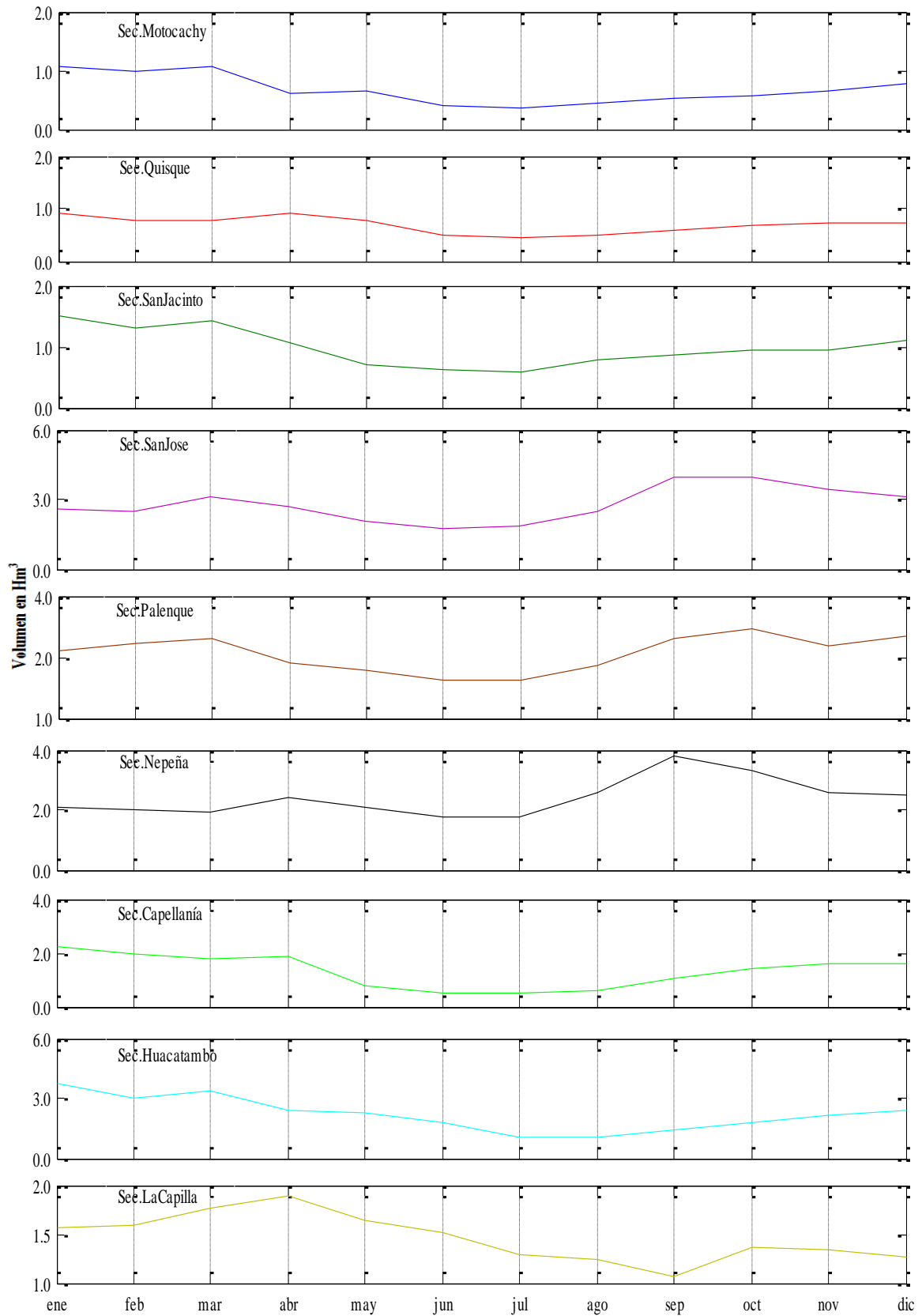


Figura 4.2: Variación mensual de la demanda hídrica por sector de riego

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

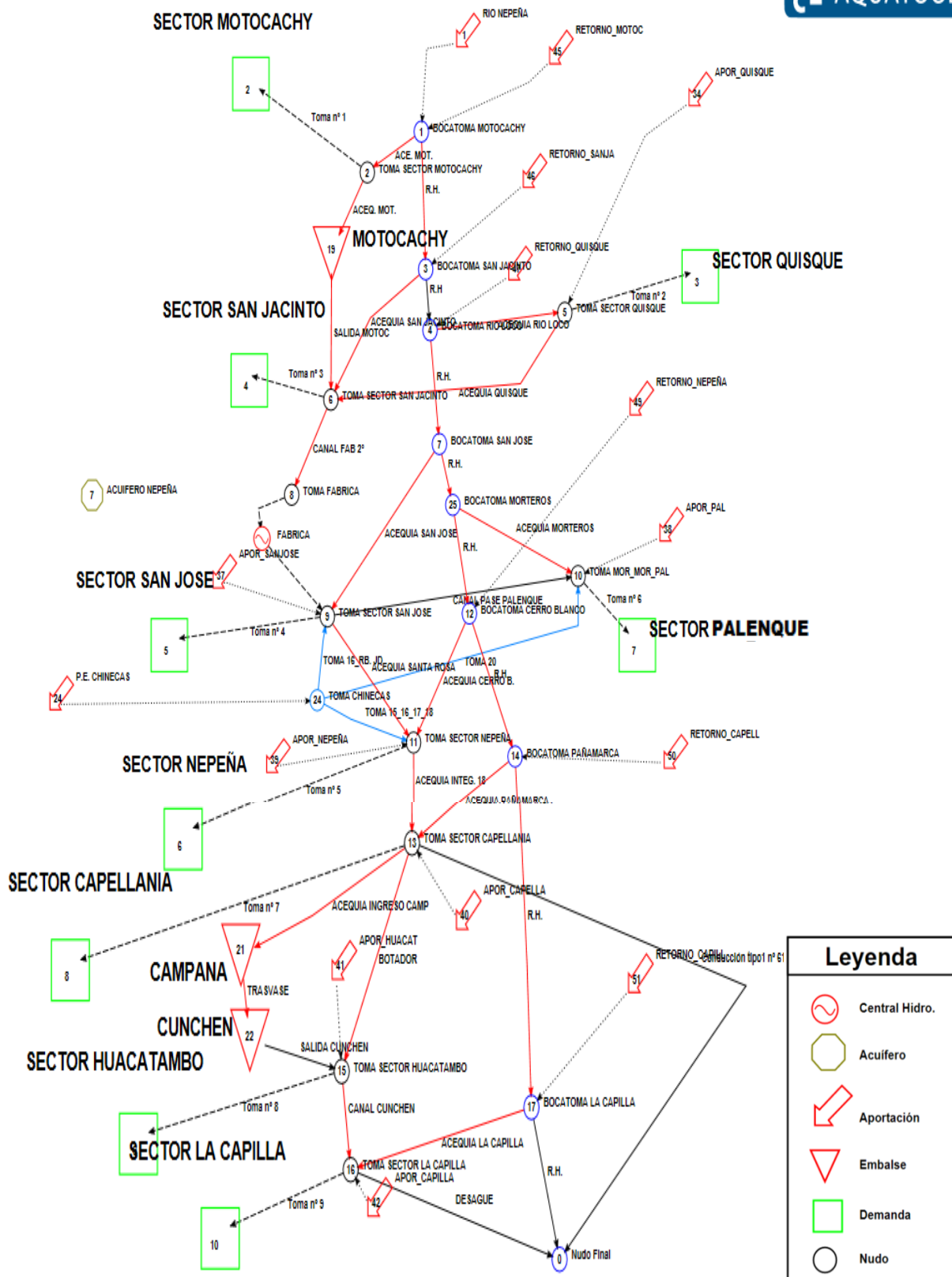


Figura 4.3: Esquema hidráulico actual del sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J., formulado en el módulo SIMGES

FUENTE: Elaborado en el sistema de soporte de decisión AQUATOOL

b. Simulación del escenario tendencial: mediante el módulo SIMGES se logró simular el escenario tendencial en un periodo de 10 años, que representa la situación de la empresa A.I.S.J. sin ninguna intervención. Los resultados de esta simulación se presentan en la Figura 4.4, en la cual se puede apreciar que el sector con mayor déficit hídrico es Nepeña, acumulando en todo el periodo de simulación 103 Hm^3 y el sector con menos déficit hídrico es Quisque, acumulando $13,92 \text{ Hm}^3$, en el mismo período. Además, que el déficit hídrico mensual máximo que se ha presentado en la simulación, es de $2,66 \text{ Hm}^3$ y pertenece al sector Nepeña, en septiembre del 2013.

Respecto al comportamiento del déficit hídrico mensual de toda la empresa San Jacinto, se puede resaltar que el valor máximo promedio en el período simulado, ocurre en enero, con $8,59 \text{ Hm}^3$. Esto se debe, a que en este mes aún no se cuenta con una descarga considerable del río Nepeña, sin embargo, es el mes donde se tiene mayor demanda hídrica según la Figura 4.4.

Por otro lado, el menor déficit hídrico promedio, se presenta en junio, con $0,04 \text{ Hm}^3$. En este mes ya no se cuenta con agua de río, pero sí con el acuífero recargado por lo que las filtraciones, drenes y pozos tienen un buen comportamiento.

En la Figura 4.4, se puede identificar que la situación actual del sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J., se encuentra en constante déficit hídrico, teniendo como promedio anual $32,2 \text{ Hm}^3$ y un déficit hídrico total (10 años) de $322,3 \text{ Hm}^3$. Esta situación provoca que los campos de cultivo no sean satisfechos plenamente, afectando directamente a la producción de caña de azúcar. La escasez del agua en el cultivo, conlleva a un problema en cadena respecto a las otras actividades del cultivo, como: el abonamiento o fertilización, la siembra y la aplicación química (pre-emergente y post-emergente).

En consecuencia, en la época de estiaje la superintendencia de campo de la empresa San Jacinto se ve obligada a priorizar el riego en campos más susceptibles al estrés hídrico. De esta manera, se priorizan los riegos en suelos no retentivos y en campos de caña de azúcar con menos de seis meses de edad, ya que, a esta edad aún se están realizando las otras actividades (fertilización y control de malezas). En cambio, los campos mayores a seis meses de edad son regados con una frecuencia de un mes o más, dependiendo de la disponibilidad de agua.

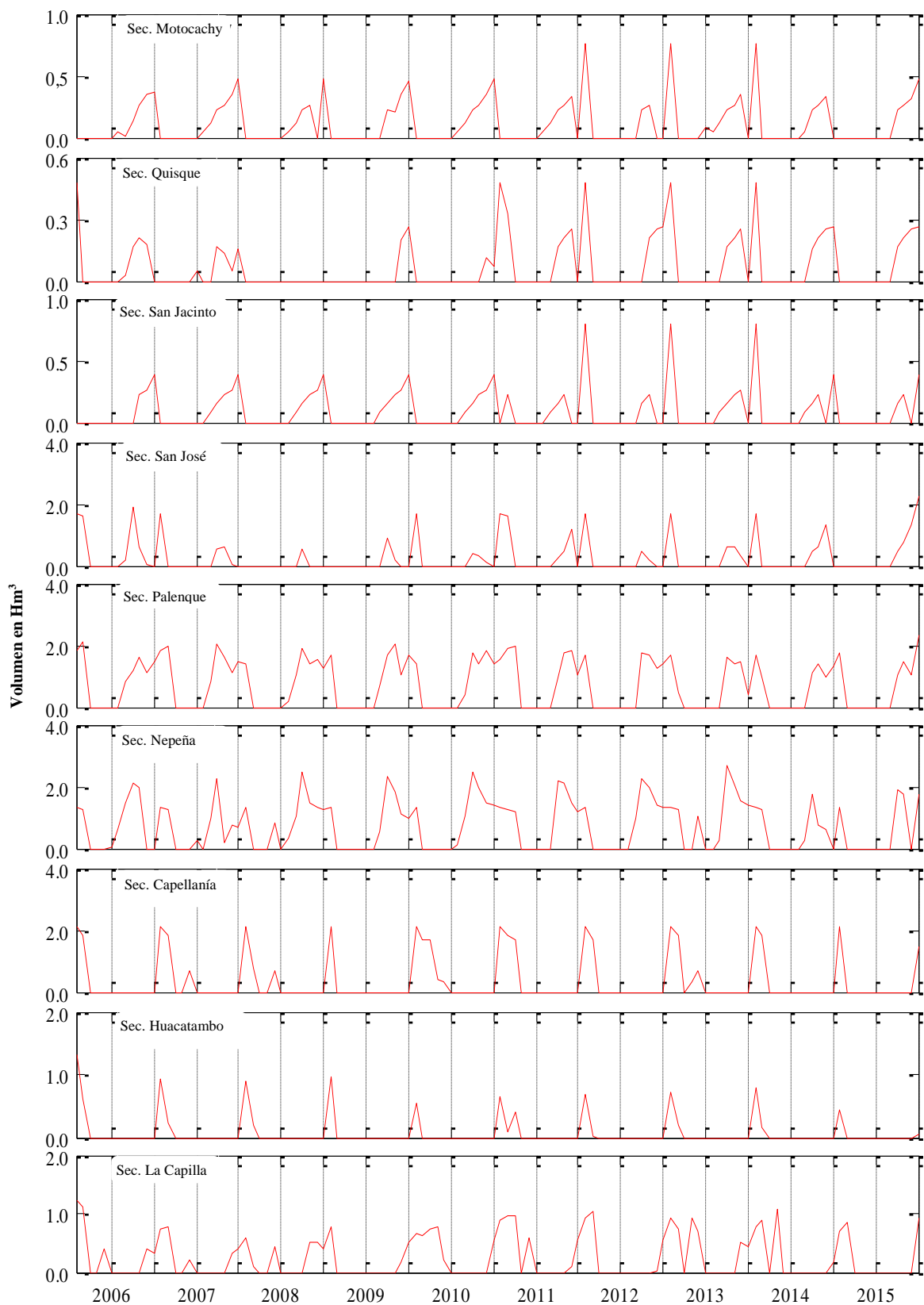


Figura 4.4: Variación mensual del déficit hídrico por sector de riego, en el escenario base del sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J. Período de análisis: enero del 2006 a diciembre del 2015

FUENTE: Elaborado con información de la empresa A.I.S.J.

De esta forma, la empresa San Jacinto sobrelleva el constante déficit hídrico que se presenta en sus campos. Sin embargo, se ve afectada la producción, ya que no está aprovechando todo el potencial del terreno por falta de agua.

- c. **Simulación de escenarios:** para lograr optimizar este sistema de recursos hídricos, se han simulado 23 escenarios, que han sido descritos en el ítem 3.3.3. En la Figura 4.5, se presentan los resultados de cada simulación, teniendo el mejor escenario para cada sector. Sin embargo, también se debe evaluar los costos de cada proyecto, por lo que se ha calculado la relación beneficio-costos para cada uno, como se muestra en la Tabla 4.2. Donde, se identifica con el color rojo los proyectos de inversión descartados por tener una relación beneficio-costos menor a uno y por ser el de menor rentabilidad entre los proyectos del mismo color, siendo cada color el conjunto de escenarios que no pueden coexistir.

Tabla 4.2: Relación beneficio-costos y reducción del déficit hídrico de los 23 proyectos de inversión

Escenario	Costo MM US\$	Reducción del déficit hídrico Hm ³	Beneficio MM US\$	B/C
1	1,54	5,07	3,23	2,10
2	1,31	2,31	2,27	1,74
3	0,60	10,35	0,68	1,13
4	2,80	14,53	0,95	0,34
5	0,78	22,52	1,48	1,89
6	3,50	13,69	0,90	0,26
7	0,28	3,34	0,22	0,78
8	0,69	20,58	1,35	1,95
9	5,00	0	0,00	0,00
10	0,96	21,77	1,43	1,49
11	1,76	87,20	5,72	3,25
12	2,45	92,25	6,05	2,48
13	0,52	68,99	4,53	8,68
14	0,46	50,07	3,29	7,20
15	2,74	34,31	2,25	0,82
16	3,81	38,42	2,52	0,66
17	0,25	11,93	0,78	3,13
18	0,68	14,82	0,97	1,43
19	0,60	3,56	0,23	0,39
20	0,34	0	0,00	0,00
21	0,35	2,55	0,17	0,48
22	0,18	14,34	0,94	5,37
23	0,15	11,11	0,73	4,76

FUENTE: Elaboración propia

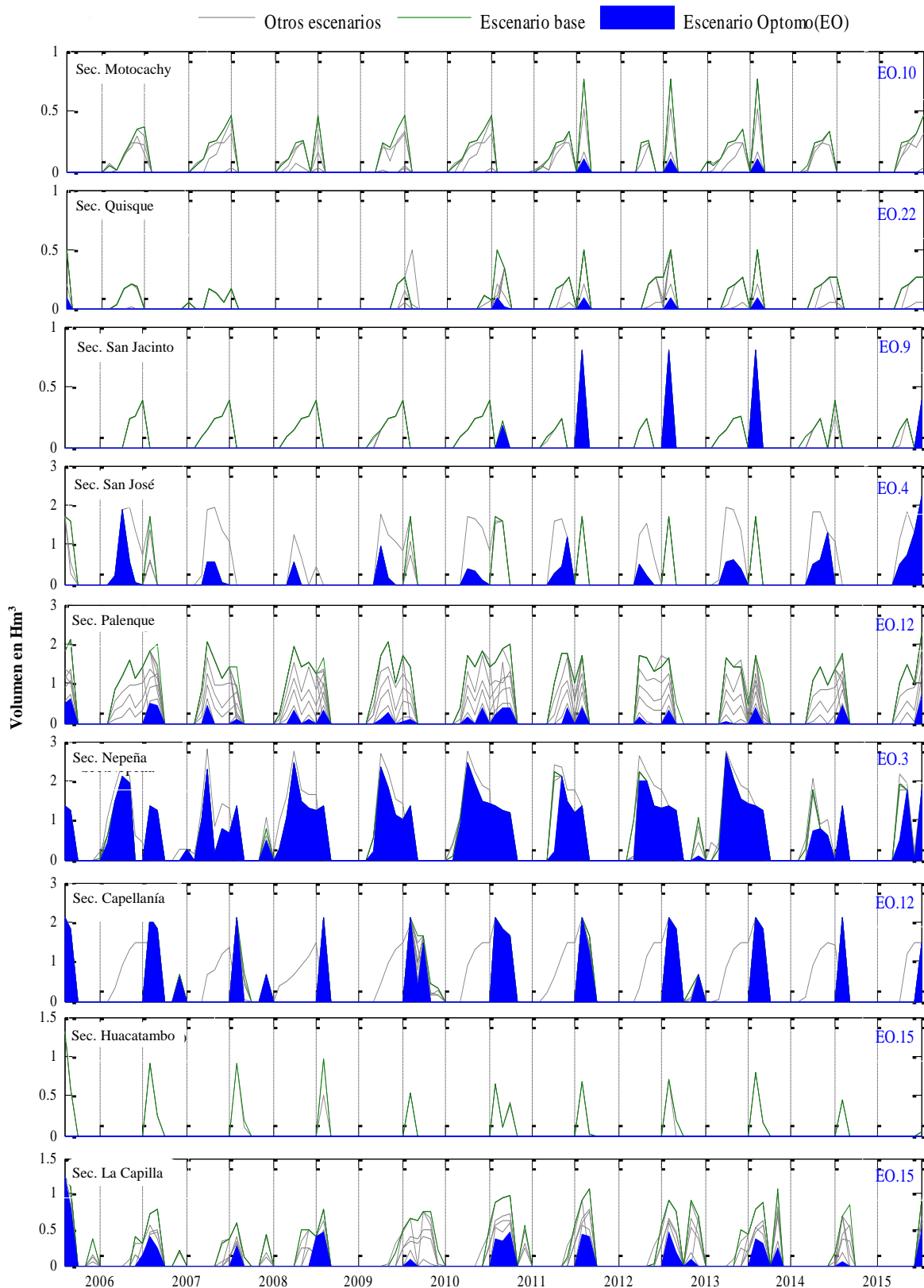


Figura 4.5: Variación mensual del déficit hídrico por sector de riego, de los 23 escenarios propuestos para optimizar el sistema de recursos hídricos de la empresa A.I.S.J. Período de análisis: de enero del 2006 a diciembre del 2015

FUENTE: Elaborado con la información del módulo SIMGES

4.3. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Para mejorar el sistema base y disminuir el déficit hídrico se tendría que ejecutar los proyectos de los escenarios 1, 2, 3, 5, 8,13, 17, 18 y 22, ya que cuentan con viabilidad económica y técnica. Sin embargo, la empresa azucarera San Jacinto cuenta con un presupuesto anual destinado a proyectos de inversión de 2 millones de dólares. Por lo tanto, este es un problema de optimización más conocido como el problema de la mochila. En este trabajo por ser un número pequeño de elementos se resolvió mediante la herramienta Solver de Excel, con el método de resolución Evolucionary.

De esta manera, se presentan los proyectos que deben ser ejecutados con la mayor prioridad en la Tabla 4.3, ya que son los que maximizan los beneficios económicos de la empresa azucarera. Como se puede observar en esta tabla, la empresa San Jacinto deberá invertir 1,73 millones de dólares para reducir el déficit hídrico en 11,78 Hm³/año y obtener un beneficio económico de 7,73 millones de dólares en cinco años.

Tabla 4.3: Proyectos que maximizan los beneficios económicos de la empresa azucarera San Jacinto

Escenario	Xi	Reducción anual del déficit hídrico	Xi.Ci	Xi.Bi
1	0	0,00	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00	0,00
5	1	2,25	0,78	1,48
8	0	0,00	0,00	0,00
13	1	6,89	0,52	4,53
17	1	1,19	0,25	0,78
18	0	0,00	0,00	0,00
22	1	1,43	0,18	0,94
Total		11,78	1,73	7,73

FUENTE: Elaboración propia

En la simulación del escenario tendencial, se tiene un déficit hídrico de 322 Hm³ en todo el periodo de análisis, considerando la ejecución de los cuatro proyectos que se muestran en la Tabla 4.3 se tiene una reducción de 117,78 Hm³, es decir, del 37 por ciento. Este nuevo escenario representa al escenario óptimo desde el punto de vista económico, consideran que la inversión por parte de la empresa azucarera solo se hará si se garantiza que los beneficios sean los máximos.

Sabiendo que aún el sistema presenta déficit hídrico se debe continuar con el mismo procedimiento todos los años, con la finalidad de asignar presupuesto a los proyectos más rentables. Además, se deben concebir más proyectos ejecutables, que cuenten con una viabilidad técnica.

Para eliminar totalmente el déficit hídrico, se debe concebir proyectos para los sectores Nepeña y Capellanía, los cuales representan el 90 por ciento del total. Uno de estos proyectos debe ser el aumento de la disponibilidad hídrica por parte del P.E. CHINECAS, ya que estos dos sectores se encuentran en el área de influencia del proyecto especial.

El aumento de la disponibilidad hídrica del proyecto especial Chinecas, es muy complejo, ya que, se trata de incrementar la capacidad hidráulica de tres túneles y lidiar con invasores, volviéndose un reto en gestión de recursos hídricos. Sin embargo, viabilizando este proyecto se puede eliminar por completo el déficit hídrico en los campos de la empresa azucarera San Jacinto.

V. CONCLUSIONES

1. De la simulación del sistema de recursos hídricos de la empresa Agroindustrias San Jacinto en el periodo de 2006-2015, se obtuvo una demanda hídrica anual promedio de 174,97 Hm³, con un déficit hídrico anual promedio de 32,2 Hm³ y una garantía de suministro de 81,6 por ciento, lo que impide que la empresa obtenga la máxima producción de sus campos de caña de azúcar.
2. Usando el indicador económico ratio beneficio-costo se han identificado los más rentables de los 23 escenarios simulados: cambio de cultivo de caña a mango en los sectores Motocachy y Palenque, construcción del reservorio de regulación debajo del P.E. Chinecas, revestimiento del canal de salida del reservorio Motocachy, instalación de un sistema de riego por pivote circular en el sector Motocachy, instalación de mangas de riego en los sectores Palenque, La Capilla y Quisque y construcción del rebombeo La Capilla. Estos representan una reducción en el déficit hídrico de 170,9 Hm³, es decir, reduciría en 53 por ciento el déficit hídrico de la línea base.
3. Luego del proceso de optimización se ha obtenido que el escenario óptimo, donde el beneficio económico es máximo para la empresa azucarera, está compuesto por la ejecución de los siguientes proyectos: revestimiento del canal de salida del reservorio Motocachy e instalación de riego por mangas en los sectores de Palenque, La Capilla y Quisque. Para ello, la empresa deberá invertir 1,73 millones de dólares para reducir en 37 por ciento el déficit hídrico, lo que proporcionará un beneficio económico de 7,73 millones de dólares en un plazo de cinco años.

VI. RECOMENDACIONES

1. Plantear proyectos que mejoren y potencien al Proyecto Especial CHINECAS, para lograr aumentar el trasvase y la disponibilidad hídrica en el valle Nepeña. La ejecución de este proyecto representa la satisfacción total de las demandas actuales de la empresa Agroindustrias San Jacinto, así como su expansión agrícola.
2. Evaluar otros sistemas de soporte de decisión para encontrar el modelo que se ajuste más a la realidad de la empresa Agroindustrias San Jacinto, ya que el módulo SIMGES está destinado para áreas más extensas como cuencas hidrográficas y su análisis es mensual.
3. Evaluar el mismo trabajo agregando el objetivo de la minimización del déficit hídrico del sistema de recursos hídricos de la empresa azucarera, teniendo en cuenta que el beneficio económico está siendo maximizado se puede considerar encontrar el escenario que cumpla con estos dos objetivos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Agroindustrias San Jacinto S.A.A. 2013. Fecha de último acceso: 4 de mayo del 2017.

Disponible en: http://www.coazucar.com/esp/sanjacinto_nosotros.html.

Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guía para la determinación de los requerimientos de los cultivos . Roma, Italia: FAO. 298 pp.

Andreu, J. 1993. Análisis de sistema y modelación. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Centro Internacional de Métodos Números en Ingeniería CIMNE. Barcelona: 25-33.

Andreu, J.; Capilla, J. y Cabezas, F. 1994. Los sistemas soportes de decision en la planificación y gestion racionales de los recursos hídricos. Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente. (Ed. TIASA) Zaragoza: 95-106.

Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J. y Ferrer, J. 2013. Manual de usuario: Modelo SIMGES de simulación de la gestión de recursos hídricos, incluyendo utilización conjunta. Versión 3.03.01. Universidad Politecnica de Valencia. Valencia. 102 pp.

Barnes, H. H. 1849. Roughness Characteristics of Natural Channels. United States Geological Survey (USGS). Water Supply Paper. Washington: 12-45.

Bogardi, J. J. 1991. Multicriteria decision analysis in water resources management, Introduction of systems analysis: terminology, concepts, objective functions and constraints. Centro internacional de formación y el departamento de recursos hídricos de la Universidad agrícola de Wageningen. Holanda. 10pp.

Chavarri, E. A. 2004. Curso: Modelos matemáticos en hidrología. Presentación de clase: Modelo Modsim, UNALM. Fecha de último acceso: 16 de junio del 2017. Disponible en: http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarri/clase_iii_mod_modelo_modsim.pdf.

Chow, V. T. y Dale, D. M. 1969. Water resources systems analysis. Parte 4: Review of programming techniques. University of Illinois. Illinois, EEUU. 70 pp.

- Dourojeanni, A. R. 2000. Desafíos para la gestión integrada de los recursos hídricos. Policy and institutions for integrated water resources management, International Water Resources Association (IWRA). Francia: 1-17.
- Haimes, Ch. Y.; Kindler, J. y Plate, E. J. 1987. The process of water resources project planning: A systems approach. Editorial Board. Estudios and reports in hydrology-UNESCO. Bélgica. 4(3): 1-18.
- Harou, J. J.; Pulido, M.; Rosenberg, D.; Medellín, J.; Lund, J. y Howitt, R. 2009. Hydro-economic models: Concepts, design, applications and future prospects. Journal of hydrology. 375 (3-4): 627-643.
- Helfgott Lerner, S. 2017. El cultivo de la caña de azúcar en la costa peruana. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 257 pp.
- Korobova, D. N. y Poizner, V. I. 1982. Use of simulation models in water resources systems analysis. Water problems institute. Academy of Sciences. International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Moscow, Rusia. 135: 215-217.
- Labadie, J. W. 2010. Manual de MODSIM 8.1: River basin management decision support system. Colorado State University. Colorado, EEUU. 45 pp.
- Loucks, D. P. y Van, B. E. 2005. Water resources systems planning and management. Water resource systems modelling: It's role in planning and management. Turin, Italia. 18 pp.
- Martinez, C. A. 1993. Modelamiento y simulación de sistemas hidráulicos utilizando teoría de redes, Tesis Mg. Sc. UNALM. La Molina, Lima. 181 pp.
- Meneses, R. A. 2000. Simulación hidrológica y optimización de uso del recurso hídrico con fines de riego caso sistema hidráulico Proyecto Especial Pasto Grande-INADE, Tesis Mag. Sc. UNALM. La Molina, Lima. 124 pp.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y riego), 2015. Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú. 53 pp.
- Mora, J.; Gamboa, J. y Elizondo, R. 2002. Guía para el cultivo de mango. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. 61 pp.

- Nandalal, K. y Simonovic, P. 2002. State of the art- report on systems analysis methods for resolution of conflicts in water resources management. Technical Documents in Hydrology. UNESCO. 127 pp.
- Ruiz, A.; Hernandez, L. A. y Giraldo, W. J. 2009. Aplicación de los sistemas de soporte de decisión (DSS) en el comercio electrónico. Revista de ingeniería e investigación 29(2): 94-99.
- SEI (Stockholm Environment Institute), 2009. Guía metodológica: Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo Water Evaluation and Planning System (WEAP). Santiago, Boston. 86 pp.
- Simonovic, S. P. y Bender, M. J. 1996. Collaborative planning support systems: an approach for determining evaluation criteria. Journal of hydrology 177 (3-4): 237-251.
- Solera, A.; Paredes, J. y Andreu, J. 2008. AQUATOOL, entorno de desarrollo de sistema de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas. Valencia, España. 81 pp.

ANEXO 1
TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.1: Inventario de reservorios

Nombre	Coordenadas UTM		NAMO	NAME	Vol. máx. (m ³)	Vol. mín. (m ³)	Área (Km ²)	Qmáx. de ingreso (m ³ /s)	Qmáx. de salida (m ³ /s)
	Norte	Este							
Captuy	8992157	810038	2,6	4,6	129 600	-	0,021	0,5	2
Motocachy	8991396	809221	15	17	4 847 114	250 000	0,41	5	1,5
Quisque alto	8988041	807122	2,64	3,64	12 960	-	0,005	0,8	0,6
San pablo	8987426	800391	1	2	1 728	-	0,002	0,04	0,12
Juan Díaz	8986746	795816	1,8	3,8	103 680	-	0,027	0,5	0,8
San isidro	8986495	794885	3	4,5	86 400	-	0,013	0,5	0,5
San Ignacio	8986692	797492	2	3	34 560	-	0,016	0,6	0,8
Sute	8983176	793880	1,5	2,5	18 000	-	0,009	0,8	1
Palenque	8985190	797969	2	2,5	15 120	300	0,025	0,6	1,2
Quemado	8990285	808393	2	2,5	3 888	-	0,004	0,05	0,12
La vid 2	8989989	807352	1,8	2	4 320	-	0,003	0,05	0,12
La vid 1	8989671	806600	1,8	2	4 320	-	0,003	0,05	0,12
Batan 1	8987162	807274	2	2,6	17 280	-	0,038	0,2	0,4
Batan 2	8987186	806734	2,7	3	17 280	-	0,003	0,15	0,12
Quisque bajo 2	8985192	803991	1,8	2	12 960	-	0,007	0,5	0,8
Maquina nueva	8986544	802477	1,9	2,9	80 000	-	0,027	2	1,5
La parra	8986483	800994	2	2,3	9 000	-	0,004	0,5	0,5
Morteros	8984693	795779	1,7	2	12 960	-	0,008	0,75	0,8
Filpo	8984850	792501	1,8	2,4	41 040	-	0,02	0,95	1,2
Linderos	8984318	791625	2	2,5	15 120	-	0,011	0,65	1
Morteros 2	8983594	794385	2	2,5	8 640	-	0,004	0,1	0,2
Sute bajo	8983258	793399	1,5	2	2 160	-	0,002	0,3	0,5
C. Castilla	8982526	790853	2	2,5	17 640	250	0,019	0,8	0,5
Cabeza de león	8982695	787170	2	2,7	38 880	-	0,015	1,5	1,2
Choloque	8979734	786821	2	2,8	49 000	-	0,017	0,6	0,8
Campana	8978768	784670	7	9,2	2 044 493	50 000	0,507	6	3
Cunchen	8978073	782652	7,5	8,8	4 837 664	150 000	0,507	3	1,5
Patillos	8974246	778893	1,8	2,3	43 200	200	0,027	2,2	1,2
Pucacocha	8986033	802046	2	2,5	7 200	-	0,003	0,5	0,35
Chimba	8986065	797147	2,5	3	10 368	-	0,003	0,12	0,12
Cerro blanco	8983284	791682	2	2,4	3 571	-	0,002	1,2	0,8
Caylan	8980994	785371	2	2,4	9 000	1 440	0,004	0,25	0,15
Cocharcas	8986896	799385	2	2,5	7 200	-	0,004	0,1	0,12

FUENTE: Elaborado con información recopilada en campo

Tabla 1.2: Inventario de canales

Nombre del canal	Margen	Tipo	Sección	Material	Estado	Long. (Km)	Q. diseño (m ³ /s)	Q. operación (m ³ /s)	B(m)	b(m)	H(m)	Z	Y(m)
Santo Toribio	D	L1	T	tierra	regular	0,634	0,95	0,70	2,2	1,8	0,9	0,2	0,7
Juan Díaz	D	L1	R	tierra	regular	0,803	0,70	0,60	1,80	1,80	0,60	0	0,00
Filpo	D	L2	T	tierra	regular	0,204	0,25	0,25	2,20	1,80	0,80	0,25	0,40
San isidro	D	L2	R	tierra	regular	1,554	0,70	0,30	1,8	1,8	0,6	0	0,2
La parra	D	CD	T	tierra	regular	2,281	0,70	0,45	1,40	1,00	0,50	0,4	0,20
Palenque	I	CD	T	concreto	regular	1,858	0,70	0,50	2,50	1,50	0,70	0,7	0,30
Cerro blanco	D	CD	T	concreto	regular	0,425	1,24	1,20	1,8	1,2	1	0,3	0,4
Cruz del siglo	D	L1	R	tierra	regular	0,594	1,00	0,30	1,50	1,50	0,80	0	0,40
Cruz del siglo T16	D	L2	T	tierra	regular	0,549	0,80	0,30	2,40	1,80	0,60	0,5	0,30
Integrador 18	D	L1	T	tierra	regular	7,667	3,50	3,00	3	2,15	1,8	0,2	0,8
Pañamarca	D	CD	T	tierra	regular	5,586	5,00	3,00	4,20	3,20	0,80	0,6	0,40
Cunchen	D	L1	T	tierra	regular	5,782	2,00	0,60	4,00	1,50	1,20	1	0,60
Linderos	D	L2	R	tierra	regular	1,678	0,70	0,70	1,2	1,2	1	0	0,6
Carrizal	D	L2	R	tierra	regular	1,868	0,50	0,20	5	5	0,5	0	0,2
Cabeza de león	D	L2	T	tierra	regular	2,471	1,50	1,20	3,80	2,80	1,15	0,4	0,80
Limas	D	L2	T	tierra	regular	3,954	0,25	0,12	4	3	0,4	1,25	0,3
Patillos	D	CD	R	tierra	regular	0,840	2,00	1,30	4,2	4,2	1,3	0	0,7
San Antonio	D	L1	R	tierra	regular	1,268	1,00	0,50	2,00	2,00	1,40	0	0,30
Huarangal	D	L1	T	tierra	regular	1,637	0,70	0,40	2	1	1,2	0,4	0,3
Rosario	D	L1	R	tierra	regular	0,474	0,20	0,15	1,75	1,75	0,6	0	0,4
Cunchen-patillos	D	L2	T	concreto	bueno	4,610	1,00	0,90	1,90	0,90	0,80	0,6	0,60
Choloque	D	L1	R	tierra	regular	2,492	0,80	0,60	1,7	1,7	0,8	0	0,4
Huacalarga	D	L1	R	tierra	regular	1,015	0,60	0,10	1,6	1,6	0,6	0	0,2

« continuación »

Nombre del Canal	Margen	Tipo	Sección	Material	Estado	Long.(Km)	Q. diseño (m ³ /s)	Q. operación (m ³ /s)	B(m)	b(m)	H(m)	Z	Y(m)
Captuy	D	CD	T	tierra	regular	0,46	7	2	5	4,3	1	0,35	1
Motocachy	D	L1	T	tierra	regular	4,044	5	2	4,3	2,7	1	0,8	1
Motocachy 2	D	L2	T	tierra	regular	2,083	2	1,5	1,5	1	1	0,25	1
San Jacinto	D	CD	T	concreto	bueno	3,003	1,4	1,2	1,2	0,9	0,8	0,18	1
Pase Quisque	D	L1	T	concreto	bueno	1,5	0,8	0,6	0,8	0,5	0,63	0,23	0,5
Mishan Tomeque	I	L1	R	tierra	regular	3,714	0,7	0,5	1,5	1,5	0,6	0	0,2
Quisque alto	I	L1	R	tierra	regular	1,36	0,8	0,25	1,5	1,5	1	0	0,3
Puckacocha	D	CD	T	tierra	regular	0,9	0,5	0,3	1	0,8	0,5	0,4	0,3
Quisque bajo	I	L1	T	tierra	regular	2,714	0,6	0,5	2	1	0,8	0,8	0,4
Amazonas	D	L1	T	tierra	regular	3,8	0,5	0,5	3	2,5	0,7	0,35	0,7
San pedro	D	L1	T	tierra	regular	4,483	0,8	0,7	4	3,2	1	0,4	0,8
Punguri	D	L1	T	tierra	regular	1,866	0,7	0,6	4	3,6	0,7	0	0,4
Santa rosa	D	L1	R	tierra	regular	3,524	2	1,5	3	3	0,6	0	0,4
San Jorge	D	L1	R	tierra	regular	4,772	1	0,5	2,24	2,24	1	0	0,6
San José	D	CD	T	tierra	regular	3,279	3	2,5	7	5	1,2	0,8	0,6
Sute	I	CD	T	tierra	regular	2,477	1,5	0,8	2	1	0,7	0,3	0,35
Sute alto	I	L1	T	tierra	regular	0,524	1,5	0,8	2,3	1,2	0,8	0,68	0,3
La leonera	I	L1	R	tierra	regular	1,822	0,12	0,08	1,1	1,1	0,8	0	0,5
Monte común	I	CD	T	concreto	regular	2,491	0,5	0,5	0,95	0,8	0,7	0,6	0,85
Quemado	D	L1	R	concreto	bueno	0,735	0,1	0,05	0,4	0,4	0,4	0	0,2
Quemado 2	D	L2	R	tierra	regular	0,94	0,3	0,25	1	1	0,35	0	0,15
La mina	D	L1	R	tierra	regular	0,469	3	1,5	1,1	1,1	0,5	0	0,3
Morteros	I	CD	T	tierra	regular	2,959	0,75	0,5	2	1	0,6	0,8	0,14
Sute t20	I	L1	T	tierra	regular	0,196	0,7	0,6	1,6	1	0,5	0,6	0,1
Sute bajo	I	L2	T	tierra	regular	1,822	0,6	0,3	1,5	1	0,5	0,5	0,35
Huaca partida	I	L1	T	tierra	regular	0,808	1	0,5	1,6	0,8	0,55	0,7	0,1

FUENTE: Elaborado con información recopilada en campo

Tabla 1.3: Inventario de pozos

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
1	5	Higueras N° 1	785656	8978658	1954	T	19,82	11,23	18"	1,64	-	-	1,12	utilizable
2	6	La Chimba N° 7	797200	8986757	1968	T	60,6	-	24"	2,34	19,17	-	1,08	utilizado
3	7	Choloque Monte N° 2	786210	8979024	1952	T	12,82	-	21"	-	-	-	-	utilizable
4	9	Choloque N° 1	786367	8978833	1952	T	20	-	25"	2,57	58,13	-	1,22	utilizado
5	22	Vaqueria N° 2	790561	8983521	1968	T	70	7,26	24"	4,10	-	-	0,78	utilizable
6	23	Vaqueria N° 1	790071	8983856	1968	T	70	31,24	24"	3,19	-	-	1,03	utilizable
7	27	Cerro Blanco N° 3	790816	8983008	1958	T	58,34	5,13	24"	3,04	-	-	0,88	utilizable
8	31	Filpo N° 3-antiguo	792496	8985345	1953	T	46	-	21"	1,35	-	-	-	utilizable
9	32	Filpo N° 2	792512	8984883	1945	T	40	-	24"	0,73	17,05	-	1,06	utilizado
10	37	San Ignacio N° 1	797544	8986845	1967	T	51,6	-	24"	-	55	8,85	1,03	utilizado
11	38	San Ignacio N° 8	797576	8986602	1968	T	60,6	-	24"	9,01	41,13	-	0,78	utilizado
12	39	San Ignacio N° 3	797670	8987040	1968	T	60	-	24"	-	51,87	5,84	0,93	utilizado
13	40	San Ignacio N° 4	797731	8987205	1968	T	68	-	21"	-	-	-	-	utilizable
14	41	San Ignacio N° 9	798160	8987045	1969	T	65	-	24"	-	28,82	10,17	0,84	utilizado
15	44	Amazonas N° 1	799463	8987871	1969	T	48	-	24"	-	30	25,75	0,64	utilizado
16	46	San Pedro N° 1	800043	8987224	1953	TA	21,8	9,5	24"	-	47,08	4,6	0,62	utilizado
17	47	Amazonas N° 3	799991	8987647	1969	T	70	33,44	21"	2,17	-	-	-	utilizable
18	48	San Pedro N° 2	800179	8987281	1954	T	27	4,54	21"	2,70	-	-	0,61	utilizable
19	49	San Pedro N° 3	800349	8987175	1954	T	24,1	-	24"	-	60,36	6,73	0,61	utilizado
20	55	Motocachy N° 1	806744	8989151	1961	T	28	-	29"	5,66	20,81	-	0,52	utilizado
21	57	Motocachy N° 3	807980	8989639	-	TA	34	1,78	-	1,16	-	-	0,57	utilizable
22	58	Motocachy N° 4	808469	8990250	1968	T	10,1	-	24"	-	31	5,3	0,4	utilizado
23	65	Parra N° 2	801226	8986417	1967	T	70	-	24"	-	45	6,32	0,63	utilizado
24	66	Parra N° 3	800958	8986270	1968	T	42,6	-	24"	3,51	51,9	-	0,73	utilizado

« continuación »

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
25	67	Parra N° 1	800799	8986565	1967	T	70	-	24"	-	41,58	6,24	0,62	utilizado
26	68	Parra N° 4	800051	8986830	1968	T	70	-	24"	-	36,5	6,23	0,73	utilizado
27	69	Parra N° 5- Nuevo	799873	8986639	1968	T	54	-	24"	2,64	30	-	0,67	utilizado
28	70	Cocharcas N° 1	798453	8986824	-	T	-	-	21"	-	-	-	-	utilizable
29	73	San Ignacio N° 6	797916	8986966	1968	T	70	-	24"	-	48,31	11,66	0,9	utilizado
30	74	Pozo Palenque N° 1	797099	8984842	1955	T	42	-	21"	2,06	39,3	-	0,88	utilizado
31	75	La Chimba N° 3	797617	8986242	1968	T	60	-	24"	-	32,36	9,96	0,77	utilizado
32	77	Pozo Mortero N° 2	794082	8983213	1941	T	50	-	24"	-	50,76	5,7	-	utilizado
33	78	Pozo Mortero N° 1	795034	8984315	1955	T	89	7,63	20"	2,54	-	-	0,82	utilizable
34	79	Pozo Sute N°1 - Antiguo	794069	8983128	1954	T	17	-	-	-	-	-	-	utilizable
35	82	Santo Toribio N° 2	792745	8984469	1949	T	33,3	-	23"	-	-	-	-	utilizable
36	87	Sute N° 4	793584	8983250	1954	T	18	7,04	21"	0,15	-	-	0,98	utilizable
37	99	Motocachy N° 5	806622	8989662	1974	T	23,5	-	24"	-	36,5	-	0,51	utilizado
38	100	Motocachy N° 8	806897	8989775	-	T	-	-	21"	-	-	-	-	utilizable
39	101	Motocachy N°10	806888	8989775	1998	T	50,4	-	24"	-	27,62	-	0,47	utilizado
40	103	Motocachy N° 9	806259	8988864	-	T	-	-	-	-	-	-	-	utilizable
41	105	Quisque Bajo N° 11	803510	8985730	1974	T	24,3	-	24"	-	38,91	4,64	0,92	utilizado
42	110	Solivín N° 3	799049	8987985	1976	T	56	-	24"	-	2,28	25,9	1,37	utilizado
43	112	San Ignacio N° 11	798635	8997656	1946	T	46	-	24"	-	45,83	22,91	1,14	utilizado
44	113	San Ignacio N° 13	798692	8987325	1977	T	35,4	-	24"	-	46,67	21	-	utilizado
45	118	Pozo Mortero N° 4	795426	8984209	2004	T	60	-	24"	-	56,82	10,92	0,79	utilizado
46	123	Tambohuarapo N° 1	781781	8977121	-	T	-	1,15	21"	0,62	-	0	1,76	utilizable
47	124	Tambohuarapo N° 2	782251	8977372	-	T	-	-	-	2,56	-	-	-	utilizable
48	125	Pozo Mortero N° 3	795286	8983643	2006	T	70	-	24"	-	29,41	-	0,93	utilizado

« continuación »

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
49	315	Los Chimus N° 1	776413	8972088	2015	T	-	14,58	21"	1,40	-	-	2,12	utilizable
50	62	Ladrillera N° 1	777023	8974315	-	T	-	-	22"	-	51,28	-	2,24	utilizado
51	317	S/N	777029	8974308	-	T	-	-	24"	-	-	-	-	utilizable
52	196	Patio Fabrica	799039	8987978	2016	T	46,96	47,3	21"	24,61	-	-	2,3	en perforación.
53	16	Quisque N° 8	804344	8984665	1967	T	65	20,67	21"	11,47	-	-	0,94	utilizable
54	17	Quisque Alto N° 2	804001	8985111	1954	T	33	11,63	21"	2,73	-	-	1,29	utilizable
55	18	Quisque N° 10	804081	8985278	1964	T	42	-	21"	-	30	5,66	0,94	utilizado
56	14	Quisque Alto N° 1	804193	8982405	1954	TA	26,8	-	24"	-	50	4,68	0,95	utilizado
57	13	Quisque N° 9	804571	8985355	1968	T	71	-	24"	-	70,09	-	0,87	utilizado
58	12	Quisque Alto N° 5	804983	8985511	1954	T	37	-	24"	-	36	-	0,93	utilizado
59	11	Quisque N° 7	804605	8985709	1968	T	70	-	24"	-	54,05	10,6	0,79	utilizado
60	15	Quisque N°12	805178	8985695	2001	T	28,8	29,26	24"	-	14,51	21,71	0,97	utilizado
61	10	Pozo Batan N° 1	806144	8986860	2006	T	30	-	24"	3,34	53,1	-	0,85	utilizado
62	270	Pozo Mortero N° 10	793626	8983939	2006	T	41	-	24"	-	39,92	7,38	0,86	utilizado
63	271	Pozo Mortero N° 9	794064	8983850	2006	T	38	-	24"	1,90	42	-	-	utilizado
64	272	Pozo Mortero N° 1	793526	8983460	1950	T	40	-	24"	1,69	32,05	-	1.05	utilizado
65	274	Pozo Mortero N° 8	794363	8983614	2005	T	46,5	-	24"	-	38,26	-	0,92	utilizado
66	275	Pozo Mortero N° 6	795634	8984771	2005	T	50	-	24"	-	30	11,67	0,64	utilizado
67	276	Pozo Palenque N° 5	795881	8985041	2010	T	44	39,85	25"	3,55	-	-	-	utilizable
68	277	Pozo Mortero N° 7	794964	8984539	2005	T	48,5	-	24"	-	40	4,02	0,67	utilizado
69	278	Pozo Mortero N° 5	794751	8984039	2005	T	42	-	24"	-	50	10,63	0,9	utilizado
70	279	Palenque N° 3	795910	8984409	1997	T	62	-	24"	-	51,95	13,05	0,81	utilizado
71	281	Pozo Palenque N°2	797565	8984666	2000	T	57,7	-	23"	-	45,24	8	0,83	utilizado
72	282	Pozo Palenque N°4	796586	8984750	2000	T	86,6	-	23"	-	39	6,81	0,76	utilizado

« continuación »

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
73	283	Quisque N°15	802218	8985702	2002	M	53	-	24"	-	41,32	5,24	0,97	utilizado
74	284	Quisque N°11	801964	8985206	-	TA	-	5	-	2,96	-	-	1,36	utilizable
75	285	Quique N° 14	802561	8985539	2002	T	50	-	24"	-	72,6	12,2	1,01	utilizado
76	286	Quisque N° 13	803809	8985373	2002	T	34	-	24"	-	41,21	-	0,92	utilizado
77	287	Quisque N°16	803163	8985535	2002	T	55	39,7	24"	4,06	34,52	-	-	utilizado
78	288	Motocachy N° 9	806161	8989035	1978	T	70	-	24"	-	61,72	1,58	0,52	utilizado
79	289	Motocachy N° 14	806807	8989415	2006	T	40	-	24"	-	68,49	12,13	0,49	utilizado
80	290	Motocachy N° 13	806905	8989245	2006	T	44	-	24"	-	48	7,05	0,5	utilizado
81	291	Motocachy N° 12	808878	8990511	2006	T	20	16,35	24"	5,64	-	-	0,4	utilizable
82	292	Quemado N° 6	808059	8989237	2011	T	25	26,7	21"	1,82	-	-	0,52	utilizable
83	293	Quemado N° 7	807795	8989363	-	T	-	20,97	24"	1,79	-	-	0,49	utilizable
84	298	La Chimba N° 1	797269	8986276	1962	T	61,8	-	24"	-	43,86	8,54	0,77	utilizado
85	299	La Chimba N° 2	797169	8986043	1968	T	70	-	24"	-	60,98	9,6	0,81	utilizado
86	300	San Jose N° 1	793776	8984953	2014	T	43	-	24"	2,03	49,83	-	1,07	utilizado
87	301	Filpo N° 1	792493	8985356	1950	T	40	-	24"	1,37	36,23	-	1,59	utilizado
88	302	Filpo N° 3	792390	8985729	2013	T	45	-	24"	2,09	33,78	-	0,94	utilizado
89	303	San Jose N° 4	794651	8985651	2014	T	45	-	24"	-	30,96	7,67	0,94	utilizado
90	304	San Jose N° 2	795227	8985788	2014	T	45	-	24"	-	65,79	8,18	0,84	utilizado
91	305	San Jose N° 5	796047	8985991	-	T	-	-	21"	2,85	-	-	-	utilizable
92	306	San Jose N° 3	795624	8986522	2015	T	45	44,28	24"	4,75	-	0	1,06	utilizable
93	307	Guillermo N° 2	790077	8983349	2013	T	49,7	-	21"	-	41,24	4	0,89	utilizado
94	308	Guillermo N° 1	790332	8983183	2013	T	47	-	21"	-	51,02	3,08	1,02	utilizado
95	309	Rosario N° 1	790663	8982385	2006	T	11	-	24"	3,96	46,4	-	0,75	utilizado
96	310	Rosario N° 2	789717	8981735	2013	T	48,5	-	21"	2,00	53,33	-	0,66	utilizado

« continuación »

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
97	311	Vaqueria N° 2	789930	8983971	2006	T	40	-	24"	2,95	34,72	-	0,92	utilizado
98	312	Guillermo N° 5	789628	8983538	2012	T	47,2	-	24"	2,74	25	-	0,91	utilizado
99	313	Vaqueria N° 1-nuevo	789209	8983654	-	T	-	-	25"	2,41	63,56	-	0,91	utilizado
100	314	Guillermo N° 3	788661	8983426	2010	T	-	-	22"	0,57	47,06	-	0,98	utilizado
101	315	Guillermo N° 4	787993	8983136	2010	T	-	-	21"	1,26	-	-	0,85	utilizable
102	316	Caylan N° 2	785501	8980411	-	-	-	-	21"	1,38	34,97	-	1,58	utilizado
103	317	Caylan N° 1	785603	8979991	2013	T	44	-	22"	1,55	63,16	-	1,25	utilizado
104	318	Choloque N° 3	786038	8979759	2013	T	40	-	24"	2,17	44,72	-	1,12	utilizado
105	319	Higueras N° 2	785957	8978749	1953	T	15,6	-	24"	2,95	36,66	-	1,24	utilizado
106	320	Higueras N° 4	785540	8978225	2010	T	13,53	-	24"	2,02	40,16	-	1,23	utilizado
107	321	Higueras N° 1	785387	8977986	-	T	-	-	24"	2,22	51,32	-	1,18	utilizado
108	322	Higueras N° 7	784847	8977662	-	T	-	-	24"	2,05	45,98	-	1,22	utilizado
109	323	Choloque N° 2	786328	8979097	2008	T	40,2	-	21"	1,82	44,36	-	1,27	utilizado
110	325	Sute N° 1 - nuevo	791539	8982223	1954	T	18	31,2	24"	3,22	-	-	-	utilizable
111	326	AISJ.1	793471	8983407	-	T	-	18,42	21"	3,43	-	-	1,04	utilizable
112	327	AISJ.2	793203	8983557	-	T	-	4,26	21"	3,06	-	-	1,12	utilizable
113	331	Beta Colorada	788250	8978856	-	T	-	-	21"	-	-	-	-	utilizable
114	332	Beta Colorada N° 1	787307	8977887	2007	T	44,8	-	24"	-	80	13,58	2,01	utilizado
115	346	Patio Fabrica N° 1	799014	8987806	1953	T	36,5	-	24"	-	43,33	31,82	0,69	utilizado
116	309	Capilla N° 6	778863	8973964	-	T	-	-	24"	1,82	26,25	-	1,74	utilizado
117	310	Capilla N° 5	778551	8973708	-	T	-	-	24"	1,97	15,15	-	1,81	utilizado
118	311	Capilla N° 4	778263	8973472	2013	T	21	-	21"	-	20,62	5	1,65	utilizado

« continuación »

N°	IRHS	Nombre del pozo	Coordenadas		Año	Tipo	Prof. inic. (m)	Prof. act. (m)	Diam. (pulgadas)	Nivel Est. (m)	Q (l/s)	Nivel din. (m)	C.E. (mmho/cm+25°C)	Estado
			Este	Norte										
119	312	Capilla N° 11	778801	8974330	2012	T	23,5	-	24"	1,74	-	-	-	utilizable
120	313	Capilla N° 3	778917	8974241	-	T	-	-	24"	4,03	36,95	-	1,7	utilizado
121	314	La Capilla N° 2	779199	8974348	2012	T	27,4	-	24"	-	332,1	3,35	1,78	utilizado

FUENTE: Elaborado con información recolectada en campo

**Tabla 1.4: Información hidrometrica de captaciones de la empresa Agroindustrias
San Jacinto S.A.A.**

Fecha	Descarga del río Nepeña (Hm ³)	Captación del río Nepeña (Hm ³)	Captaciones de aguas de retorno en bocatomas (Hm ³)	Captaciones del P.E. CHINECAS (Hm ³)	Captaciones de filtraciones (Hm ³)	Captaciones de drenes (Hm ³)	Captaciones de pozos (Hm ³)
ene-06	9,02	1,06	0,69	4,00	1,82	-	1,78
feb-06	8,52	5,43	1,07	1,77	2,04	-	0,87
mar-06	35,18	20,92	1,95	0,97	2,91	-	0,53
abr-06	20,16	10,93	2,36	0,47	2,87	-	0,50
may-06	6,40	2,44	2,14	1,53	3,36	1,33	0,67
jun-06	-	-	2,89	1,22	4,21	1,82	1,15
jul-06	-	-	2,23	1,09	3,61	1,35	1,05
ago-06	-	-	1,88	1,35	3,26	1,68	1,29
sep-06	-	-	1,53	2,52	2,74	2,01	1,40
oct-06	-	-	1,86	2,19	3,04	2,08	1,78
nov-06	-	-	1,80	3,41	2,97	2,00	1,84
dic-06	-	0,96	3,30	3,27	4,60	2,05	1,99
ene-07	8,00	4,96	1,47	3,31	2,68	2,13	1,08
feb-07	8,07	3,90	1,84	2,55	2,77	1,90	1,03
mar-07	30,72	15,65	2,54	1,02	3,67	2,12	0,84
abr-07	27,23	7,28	2,66	0,22	4,19	2,49	0,50
may-07	3,31	4,62	2,51	0,12	4,20	3,02	0,51
jun-07	-	0,99	2,71	0,50	4,24	3,45	0,97
jul-07	-	-	3,28	1,14	4,78	3,33	1,10
ago-07	-	0,00	2,91	1,05	4,28	3,00	1,10
sep-07	-	-	2,41	1,07	3,60	2,48	1,33
oct-07	-	-	2,79	3,45	4,01	2,13	2,04
nov-07	-	-	2,55	2,19	3,75	1,97	1,95
dic-07	-	-	2,38	2,21	3,51	1,92	2,14
ene-08	10,02	3,93	2,54	3,36	3,67	1,99	1,40
feb-08	16,92	8,97	3,02	1,35	4,19	2,01	1,02
mar-08	31,92	12,67	3,23	0,13	4,93	2,55	0,49
abr-08	32,08	12,19	3,52	0,23	5,10	2,47	0,43
may-08	1,30	2,85	3,39	0,08	5,24	3,10	0,34
jun-08	-	0,32	4,08	0,13	5,95	3,01	0,42
jul-08	-	-	2,49	0,09	4,36	2,59	0,39
ago-08	-	-	3,09	0,12	5,00	2,29	0,38
sep-08	-	-	3,12	0,62	5,01	2,21	0,71
oct-08	-	-	3,55	2,48	5,35	2,21	1,10
nov-08	-	-	4,48	1,02	6,30	1,92	0,76
dic-08	-	-	3,27	1,91	4,86	2,17	0,86
ene-09	10,93	3,70	3,11	0,93	4,65	1,91	0,76
feb-09	32,57	10,45	3,38	0,22	4,89	2,46	0,28
mar-09	29,64	9,67	3,01	0,13	5,31	3,28	0,35
abr-09	23,16	4,48	3,17	0,21	5,87	3,46	0,29

« continuación »

Fecha	Descarga del río Nepeña (Hm ³)	Captación del río Nepeña (Hm ³)	Captaciones de aguas de retorno en bocatomas (Hm ³)	Captaciones del P.E. CHINECAS (Hm ³)	Captaciones de filtraciones (Hm ³)	Captaciones de drenes (Hm ³)	Captaciones de pozos (Hm ³)
may-09	5,96	2,55	3,33	0,09	6,99	4,04	0,30
jun-09	-	0,54	3,31	0,17	6,93	4,38	0,28
jul-09	-	-	3,47	0,17	6,67	4,53	0,26
ago-09	-	-	3,19	0,15	5,96	4,09	0,26
sep-09	-	-	2,75	0,28	4,96	3,24	0,35
oct-09	-	0,79	2,99	1,05	4,95	3,07	1,16
nov-09	-	1,77	2,34	1,56	4,34	2,70	1,63
dic-09	-	4,54	2,40	1,25	4,23	2,56	0,84
ene-10	8,29	4,54	2,60	0,87	4,64	2,61	0,67
feb-10	15,19	7,27	2,81	0,61	4,79	2,64	0,47
mar-10	8,45	5,61	3,10	0,78	5,54	3,17	0,63
abr-10	7,11	4,81	3,62	1,74	6,32	3,28	0,42
may-10	0,96	0,96	3,95	2,78	6,97	3,62	0,73
jun-10	-	-	3,38	2,56	6,22	3,34	0,81
jul-10	-	-	2,39	1,24	4,24	2,66	0,89
ago-10	-	-	3,13	1,04	6,09	4,08	1,24
sep-10	-	-	2,29	1,18	4,05	3,01	0,85
oct-10	-	-	2,41	2,00	4,21	2,93	1,59
nov-10	-	-	1,91	0,76	3,26	2,72	2,07
dic-10	-	-	1,90	1,79	3,16	2,58	2,24
ene-11	6,60	2,44	2,08	2,78	3,44	2,46	1,75
feb-11	4,04	1,02	1,89	1,89	3,09	2,08	0,93
mar-11	7,06	1,88	2,04	2,08	3,45	2,12	2,56
abr-11	27,62	15,93	2,52	3,20	4,57	2,41	0,86
may-11	2,83	2,05	2,93	1,91	5,06	3,07	1,30
jun-11	-	0,13	2,81	2,71	4,84	2,91	1,83
jul-11	-	0,08	2,44	4,80	4,68	2,84	2,17
ago-11	-	-	2,17	3,96	4,52	3,02	2,59
sep-11	-	-	1,74	2,22	4,06	2,70	2,78
oct-11	-	0,03	1,52	1,64	3,60	2,49	3,32
nov-11	-	0,13	1,15	1,06	2,91	2,34	3,50
dic-11	5,18	2,40	1,30	2,03	2,76	2,28	3,24
ene-12	2,15	1,34	1,50	1,28	2,88	2,08	3,66
feb-12	13,26	10,79	2,64	2,81	3,82	1,74	2,02
mar-12	38,06	18,81	2,69	2,05	4,84	2,26	1,40
abr-12	27,95	15,77	2,66	0,92	5,79	3,18	0,90
may-12	5,17	4,59	3,28	1,24	6,80	3,90	0,74
jun-12	-	-	3,68	2,35	6,58	3,95	0,65
jul-12	-	-	3,40	2,23	6,05	3,90	0,76
ago-12	-	-	3,48	0,94	5,96	3,89	1,84

« continuación »

Fecha	Descarga del río Nepeña (Hm ³)	Captación del río Nepeña (Hm ³)	Captaciones de aguas de retorno en bocatomas (Hm ³)	Captaciones del P.E. CHINECAS (Hm ³)	Captaciones de filtraciones (Hm ³)	Captaciones de drenes (Hm ³)	Captaciones de pozos (Hm ³)
sep-12	-	-	2,54	0,74	4,67	3,52	2,36
oct-12	-	-	1,99	1,59	3,80	2,99	3,44
nov-12	1,90	0,85	1,69	1,56	3,13	2,67	3,54
dic-12	3,11	1,38	1,53	1,76	2,82	2,40	4,31
ene-13	2,66	1,55	1,83	1,63	2,97	1,96	5,04
feb-13	10,49	2,96	2,11	2,44	3,02	1,44	4,27
mar-13	71,06	26,34	3,02	4,35	4,92	2,51	1,18
abr-13	6,70	6,31	3,69	0,67	5,94	2,74	1,19
may-13	-	0,13	3,48	1,21	5,86	2,87	1,18
jun-13	-	-	2,81	3,06	4,93	2,77	1,62
jul-13	-	-	2,89	1,55	5,17	2,67	2,04
ago-13	-	-	2,47	3,03	4,58	2,54	2,53
sep-13	-	-	1,87	1,30	3,72	2,35	3,25
oct-13	-	-	1,73	2,06	3,28	2,26	3,82
nov-13	-	-	1,38	1,44	2,79	2,02	4,97
dic-13	3,58	0,07	3,73	1,92	4,94	1,95	5,38
ene-14	0,79	0,55	1,59	2,41	2,65	1,77	5,51
feb-14	9,18	3,13	2,00	3,29	2,77	1,34	5,43
mar-14	48,95	23,87	2,51	6,44	3,62	1,66	1,43
abr-14	3,34	2,78	2,84	5,47	4,99	2,13	0,98
may-14	5,37	3,27	3,55	4,97	5,98	2,84	0,85
jun-14	-	-	3,37	5,18	5,80	2,81	1,06
jul-14	-	-	2,94	5,35	5,52	3,00	0,96
ago-14	-	-	2,34	3,07	4,77	2,75	1,07
sep-14	-	-	1,93	2,87	4,11	2,54	2,70
oct-14	-	-	1,56	3,37	3,58	2,70	3,86
nov-14	-	-	1,07	2,89	2,86	2,43	4,39
dic-14	1,43	0,01	1,45	4,61	3,19	2,45	4,92
ene-15	7,90	3,46	1,92	4,58	3,48	2,14	3,83
feb-15	14,80	6,63	2,35	5,22	3,79	1,79	2,26
mar-15	60,67	17,98	2,82	4,83	5,10	2,34	1,85
abr-15	14,26	10,48	2,16	4,37	5,04	2,75	1,20
may-15	7,60	4,56	2,55	2,46	6,26	3,35	1,05
jun-15	0,48	1,02	3,27	2,49	5,81	4,42	0,86
jul-15	-	-	2,87	2,57	5,34	4,02	0,80
ago-15	-	-	2,37	3,45	4,81	3,58	1,65
sep-15	-	-	1,81	2,60	4,01	3,39	2,73
oct-15	-	-	1,37	2,39	3,34	3,28	4,70
nov-15	-	-	1,09	3,62	3,01	2,64	4,78
dic-15	5,93	0,70	2,43	5,25	4,34	2,66	3,32

FUENTE: Elaborado con información de la empresa azucarera A.I.S.J.

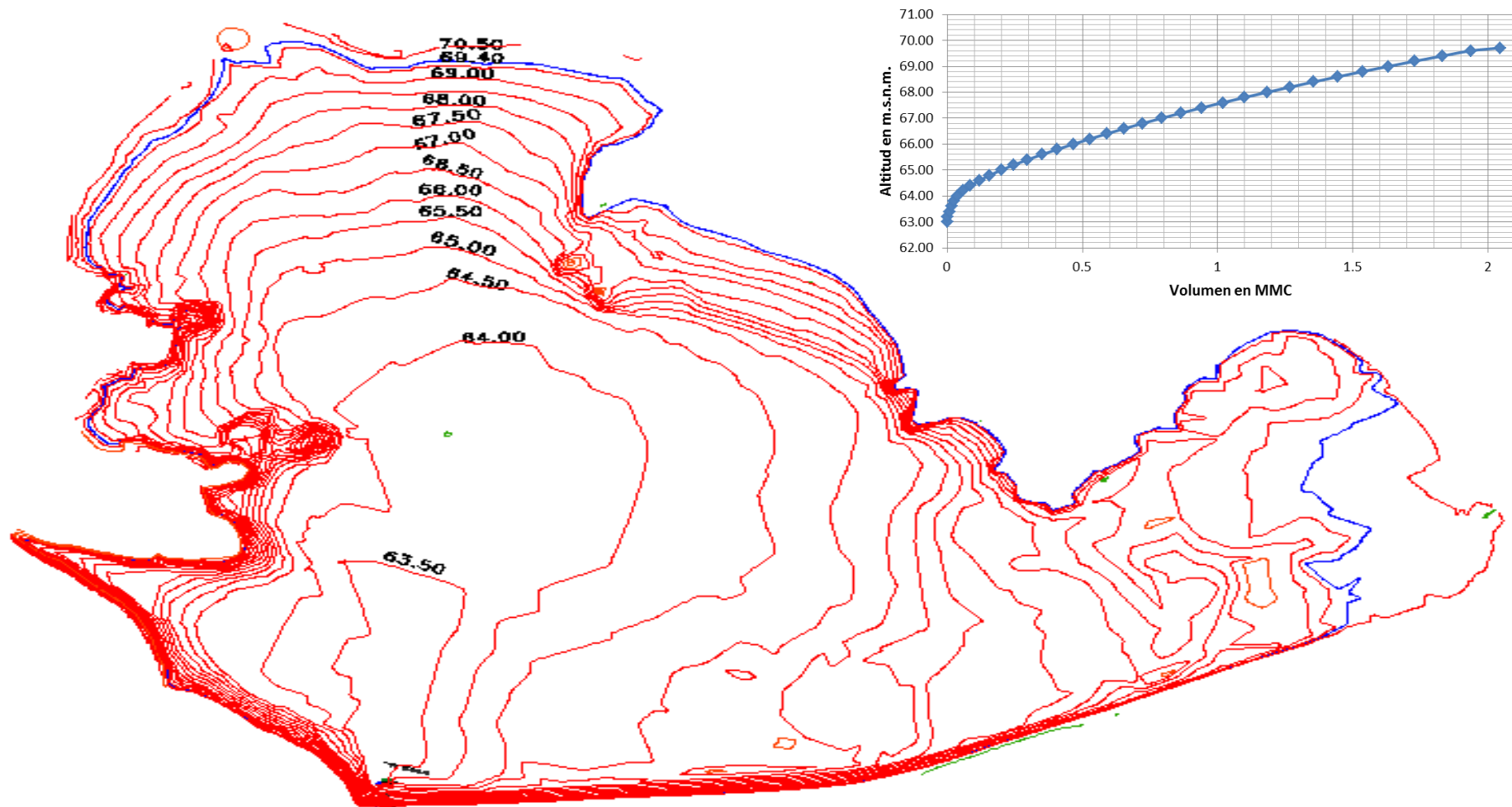


Figura 1.1: Plano del embalse Campana de 2,04 Hm³ (izquierda) y curva de altitud vs. volumen embalsado (derecha)

FUENTE: Elaborado con información de campo

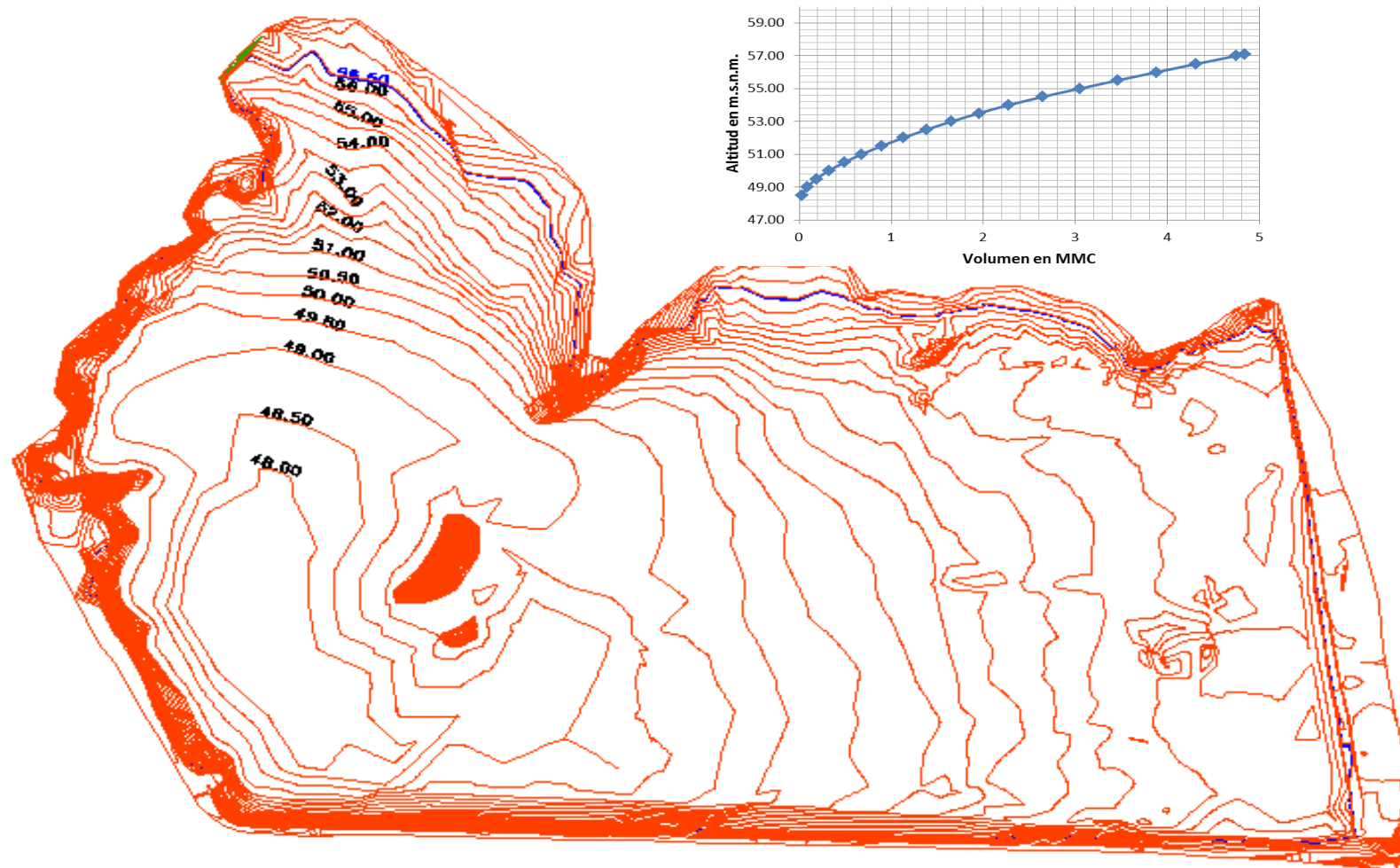


Figura 1.2: Plano del embalse Cunchen de 4,83 Hm³ (izquierda) y una curva de altura vs. volumen embalsado (derecha)

FUENTE: Elaborado con información de campo

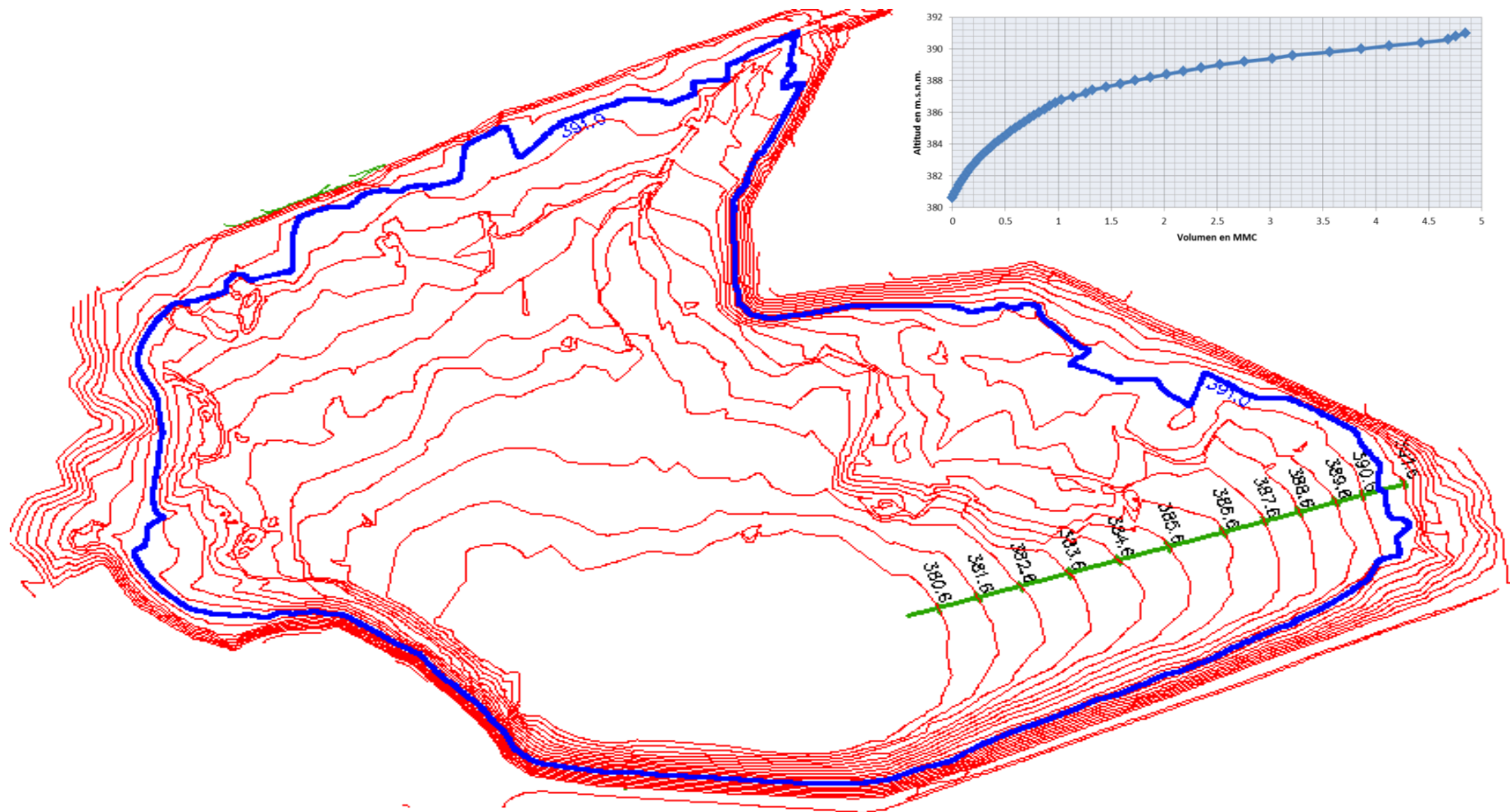


Figura 1.3: Plano del embalse Motocachy de 4,84 Hm³ (izquierda) y curva de altitud vs. volumen embalsado (derecha)

FUENTE: Elaborado con información de campo

ANEXO 2
PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: Pozo tubular Quemado 7	Fotografía 2: Canal de conducción	Fotografía 3: Dren Quemado
		
Fotografía 4: Reservorio Motocachy	Fotografía 5: Levantamiento topográfico de canales de distribución	Fotografía 6: Traslado del equipo de aforo
		

Figura 2.1: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Motocachy

FUENTE: Elaborado con información de campo

Fotografía 1: Pozo tubular Quisque 7	Fotografía 2: Reservorio Quisque alto	Fotografía 3: Dren Quisque
		
Fotografía 4: Canal de conducción	Fotografía 5: Levantamiento de canal de conducción Fabrica	Fotografía 6: Levantamiento del canal Quisque
		

Figura 2.2: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Quisque

FUENTE: Elaborado con información de campo

<p>Fotografía 1: Confluencia de ingreso del reservorio Máquina Nueva</p>	<p>Fotografía 2: Partidor del canal Villafana</p>	<p>Fotografía 3: Pozo San Pedro 3</p>
		
<p>Fotografía 4: Aforo del canal San Jacinto</p>	<p>Fotografía 5: Reservorio Máquina Nueva</p>	<p>Fotografía 6: Levantamiento topográfico del canal San Pedro</p>
		

Figura 2.3: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector San Jacinto

FUENTE: Elaborado con información de campo



Figura 2.4: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector San José

FUENTE: Elaborado con información de campo

Fotografía 1: Aforo de la filtración Sute Bajo Gorila	Fotografía 2: Pase aéreo Palenque	Fotografía 3: Bocatoma rústica Sute
		
Fotografía 4: Pozo tubular Mortero 4	Fotografía 5: Canal de conducción San José	Fotografía 6: Levantamiento topográfico del cauce del río
		

Figura 2.5: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Palenque

FUENTE: Elaborado con información de campo







<p>Fotografía 1: Pase de concreto Filpo</p>	<p>Fotografía 2: Dren Linderos</p>	<p>Fotografía 3: Pozo tubular Filpo 2</p>
		
<p>Fotografía 4: Canal principal del Proyecto Especial Chinecas</p>	<p>Fotografía 5: Filtración natural Chinequitas</p>	<p>Fotografía 6: Preparación de la caja hidráulica del canal para aforar la filtración natural Filpo</p>
		

Figura 2.6: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Nepeña

FUENTE: Elaborado con información de campo

Fotografía 1: Pozo tubular Caylan 1	Fotografía 2: Partidor Pañamarca	Fotografía 3: Canal de ingreso al reservorio Campana
		
Fotografía 4: Canal de conducción Pañamarca	Fotografía 5: Bocatoma rústica Pañamarca	Fotografía 6: Compuerta radial metálica de captación en la bocatoma Pañamarca
		

Figura 2.7: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Capellanía

FUENTE: Elaborado con información de campo






<p>Fotografía 1: Compuerta metálica en la salida del reservorio Choloque</p>	<p>Fotografía 2: Puente de concreto a la salida del reservorio Cunchen</p>	<p>Fotografía 3: Aforo de la filtración natural Pañamarquilla en el canal San Gregorio</p>
		
<p>Fotografía 4: Pista de aterrizaje para la avioneta que realiza la aplicación química a los campos de A.I.S.J.</p>	<p>Fotografía 5: Reservorio Cunchen</p>	
		

Figura 2.8: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector Huacatambo

FUENTE: Elaborado con información de campo

<p>Fotografía 1: Medición de velocidades, con el correntómetro, en el canal Patillos</p>	<p>Fotografía 2: El apoyo del equipo de topografía de la empresa A.I.S.J.</p>	<p>Fotografía 3: Canal de conducción L1 Canal</p>
		
<p>Fotografía 4: Levantamiento topográfico del reservorio Patillos.</p>	<p>Fotografía 5: Medición de velocidad con un correntómetro</p>	<p>Fotografía 6: Filtración natural La Viuda</p>
		

Figura 2.9: Levantamiento topográfico y aforos de la infraestructura de riego del sector La Capilla

FUENTE: Elaborado con información de campo

ANEXO 3
PLANOS

ESQUEMA HIDRÁULICO DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.A.

LEYENDA	
TIPO DE FUENTE	ELEMENTOS
	RÍO
	POZOS
	DRENE
	P.E. CHINECAS
	RESERVORIO
	CANAL
	TOMA
	CANAL CHINECAS
	PANAMERICANA SUITE
	RÍOS PRINCIPALES
	CANALES PRINCIPALES
	CANALES SECUNDARIOS

