

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Sistemas



"Modelo Dinámico Para la Predicción del Abastecimiento de Agua Potable, Ciudad de Ayacucho, 2010 al 2020".

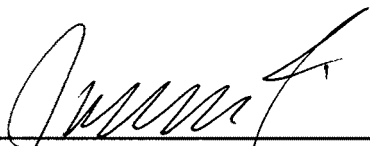
Tesis presentado por : Bach. Javier Portillo Quispe
Para Optar el Título Profesional de : Ingeniero de Sistemas
Area de Investigación : Dinámica de Sistemas
Tipo de Investigación : Investigación Tecnológica
Asesor : MSc. Ing. Efraín Elías Porras Flores

Ayacucho, Setiembre 2014

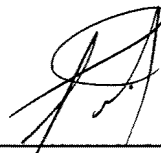
“MODELO DINÁMICO PARA LA PREDICCIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, CIUDAD DE AYACUCHO, 2010 AL 2020”

RECOMENDADO : 21 DE NOVIEMBRE DEL 2014

APROBADO : 11 DE DICIEMBRE DEL 2014



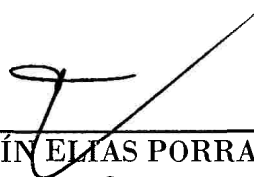
Ing. Dr. JAIME A. HUAMAN MONTES
PRESIDENTE



Ing. ELINAR CARRILLO RIVEROS
MIEMBRO



Ing. MANUEL LAGOS BARZOLA
MIEMBRO



Ing. Msc. EFRAÍN ELÍAS PORRAS FLORES
MIEMBRO



Ing. FLOBO N. YANGALI GUERRA
SECRETARIO DOCENTE

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 11 de diciembre del 2014, en la sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería de Sistemas Sr. Javier PORTILLO QUISPE, con la tesis titulado “MODELO DINÁMICO PARA LA PREDICCIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, CIUDAD DE AYACUCHO, 2010 AL 2020”, fue calificado con la nota de TRECE(13) por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.

RECOMENDADO : 21 DE VOVIEMBRE DEL 2014

APROBADO : 11 DE DICIEMBRE DEL 2014



Ing. Dr. JAIME A. HUAMAN MONTES
PRESIDENTE



Ing. ELINAR CARRILLO RIVEROS
MIEMBRO



Ing. MANUEL LAGOS BARZOLA
MIEMBRO



Ing. Msc. EFRAÍN ELÍAS PORRAS FLORES
MIEMBRO



Ing. FLORO N. YANGALI GUERRA
SECRETARIO DOCENTE

DEDICATORIA

A mis padres Roberto y Sebastiana, quienes me dieron aun en la pobreza mi educación, a mis abuelitas en el cielo.

A mis hermanas quienes me apoyaron moralmente y ecanómicamente, a toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, por siempre estar a mi lado, por darme salud y guiarme en el camino de la vida.

A mi alma mater la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Sistemas por transmitir sus conocimientos.

Al personal de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Ayacucho S.A(EPSSA) en especial al Ing. Honorato Palomino Rúa - Gerente de Operaciones, sin su valiosa colaboración y conocimiento no hubiese sido posible la culminación de este trabajo.

A la Municipalidad Provincial de Huamanga por la importante ayuda e informaciones facilitadas.

A mis amigos, compañeros de estudio, compañeros de trabajo, que sin duda alguna siempre fueron y serán necesarias, no solo para la elaboración del siguiente trabajo sino a lo largo de mi carrera, personas que nunca esperaron nada a cambio y siempre estuvieron prestos y con muy buena fe.

Muchas Gracias a todos, Dios los cuide por siempre.

CONTENIDO

| | |
|----------------------|-----|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS..... | ii |
| CONTENIDO | iii |
| RESUMEN | vi |
| INTRODUCCIÓN | vii |

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|---|---|
| 1.1 | DIAGNÓSTICO Y ENUNCIADO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2 | DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 3 |
| 1.2.1 | PROBLEMA PRINCIPAL..... | 3 |
| 1.2.2 | PROBLEMAS SECUNDARIOS..... | 3 |
| 1.3 | OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.3.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 1.3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 1.4 | HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.5 | JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| 1.5.1 | JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 1.5.2 | DELIMITACIÓN | 5 |

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 6 |
| 2.2 | MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.2.1 | MODELO DINÁMICO | 9 |
| 2.2.2 | ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE..... | 18 |
| 2.2.3 | PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE..... | 26 |
| 2.2.4 | DEMANDA DE AGUA POTABLE | 28 |
| 2.2.5 | TEORIA GENERAL DE SISTEMAS..... | 29 |
| 2.2.6 | ENFOQUE DE SISTEMAS | 30 |
| 2.2.7 | DINÁMICA DE SISTEMAS | 31 |
| 2.2.8 | SIMULACIÓN | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2.9 | HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA DINÁMICA DE SISTEMAS | 35 |
| 2.2.10 | POBLACIÓN Y MUESTRA | 35 |

CAPÍTULO III METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 37 |
| 3.2 | NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 37 |
| 3.3 | POBLACIÓN Y MUESTRA | 38 |
| 3.4 | VARIABLES E INDICADORES | 39 |
| 3.4.1 | DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES | 39 |
| 3.4.2 | DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES | 40 |
| 3.5 | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS..... | 41 |
| 3.5.1 | TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN | 41 |
| 3.5.2 | INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN..... | 41 |
| 3.5.3 | HERRAMIENTAS PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN | 41 |
| 3.5.4 | TÉCNICAS PARA APLICAR DINÁMICA DE SISTEMAS..... | 42 |

CAPÍTULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | ENFOQUE SISTEMICO | 46 |
| 4.1.1 | COMPONENTES DEL SISTEMA | 46 |
| 4.1.2 | OBJETIVO DEL SISTEMA..... | 46 |
| 4.1.3 | GRÁFICO DEL MODELO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE..... | 46 |
| 4.2 | DIAGRAMA CAUSAL..... | 48 |
| 4.2.1 | LISTA DE VARIABLES ENDÓGENAS | 48 |
| 4.2.2 | LISTA DE VARIABLES EXÓGENAS | 49 |
| 4.2.3 | LISTA DE VARIABLES INCLUIDAS | 49 |
| 4.2.4 | LISTA DE VARIABLES EXCLUIDAS ENDOGENAS..... | 50 |
| 4.2.5 | LISTA DE VARIABLES EXCLUIDAS EXOGENAS | 50 |
| 4.2.6 | VARIABLES DEFINIDOS CONCEPTUALMENTE..... | 51 |
| 4.2.7 | GRÁFICO DEL DIAGRAMA CAUSAL..... | 52 |
| 4.2.8 | LAZOS DE REALIMENTACIÓN IDENTIFICADOS | 54 |
| 4.3 | DIAGRAMA DE FORRESTER | 56 |
| 4.3.1 | LISTA DE VARIABLES DE FLUJO..... | 56 |
| 4.3.2 | LISTA DE VARIABLES DE NIVEL..... | 56 |
| 4.3.3 | LISTA DE VARIABLES AUXILIARES..... | 56 |
| 4.3.4 | VARIABLES RELACIONADOS..... | 57 |
| 4.3.5 | VARIABLES ASIGNADOS CON SUS VALORES | 57 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.6 | ECUACIONES INGRESADOS | 57 |
| 4.3.7 | GRÁFICO DEL DIAGRAMA DE FORRESTER..... | 57 |
| 4.4 | VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO | 59 |
| 4.5 | SIMULACIÓN DEL MODELO | 62 |
| 4.6 | ESCENARIOS PROPUESTOS..... | 65 |

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| 5.1 | CONCLUSIONES | 67 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 68 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| BIBLIOGRAFIA..... | 69 |
|--------------------------|-----------|

RESUMEN

El consumo per cápita de agua potable en la Ciudad de Ayacucho es de 167 lt/hab/día, al mes de diciembre del año 2010, sin embargo la demanda será mucho mayor a medida que avanza el crecimiento poblacional. Pues al año 2010 contaba con una población de 195,782 habitantes, con una tasa anual de crecimiento de 2 %, proyectándose una población de 229,213 habitantes para el año 2020. La cobertura del servicio de agua potable está a cargo de la empresa prestadora de servicios de agua potable(EPSASA), entre las principales fuentes de abastecimiento del líquido vital derivan de los aportes provenientes del proyecto especial río Cachi 400 lt/s que representa el 80% de la fuente de captación y el canal Chiara que aporta 100 lt/s, ubicados al sureste de la ciudad.

En la presente investigación se busca desarrollar un modelo dinámico de predicción del abastecimiento del agua potable en la Ciudad de Ayacucho, utilizando la metodología de dinámica de sistemas; para obtener información de población y demanda de agua potable en dicha ciudad escogiéndose como horizonte de planeación un periodo de 10 años(2010-2020).

En Ayacucho no existen trabajos de investigación utilizando como metodología la dinámica de sistemas, para formular un modelo dinámico que permita planear de forma integral el manejo del recurso hídrico en la ciudad, por tanto, ha impedido una visualización amplia del problema y sus potencialidades y anticiparse a insuficiencias e ineficiencias en la asignación del agua potable a la población Ayacuchana.

PALABRAS CLAVE

Modelo dinámico, dinámica de sistemas, simulación, agua potable, demanda de agua potable.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión del recurso hídrico requiere del desarrollo de herramientas que soporten la toma de decisiones informadas sobre una base científica sólida, como respuesta a las necesidades y situaciones cambiantes del sector. Estas herramientas de apoyo a la gestión del recurso, deben contar con la suficiente flexibilidad para abordar los retos hídricos y optimizar la contribución del agua al desarrollo sostenible. Lo anterior tiene como propósito, producir información consistente y comparable que sea la base del proceso de toma de decisiones y que permita una mejor administración del agua, especialmente en aspectos como la prevención de situaciones que atenten contra la integridad humana.

La creciente demanda de agua es, en primera instancia, producto del aumento de la población, aunque existen otros factores que también inciden en este crecimiento. De hecho, en muchos casos los recursos hídricos disponibles han comenzado a declinar debido a su sobre explotación. La carencia de este servicio influye directamente en la salud de la población, particularmente en los niños, quienes a falta del agua potable son los más propensos a padecer las enfermedades y parasitosis relacionados al consumo de agua no potabilizado.

En vista de la gran importancia del agua potable como recurso esencial para la vida, el cual es limitado y presenta una creciente demanda, es importante conocer cómo es la dinámica que gira en torno al consumo de tan preciado recurso en la Ciudad de Ayacucho. Así, surge la inquietud de desarrollar un modelo de simulación de dinámica de sistemas para entender lo que sucede en la producción y demanda de agua potable y, como sería su comportamiento ante distintos escenarios que se pudieran presentar.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DIAGNOSTICO Y ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Según la Municipalidad Provincial de Huamanga(2010), la Ciudad de Ayacucho tiene aproximadamente 195,782 habitantes para el año 2010, con una tasa anual de crecimiento de 2%, proyectándose una población de 229,213 habitantes para el año 2020, en el año 1993 contaba con una población de 105,918; la cobertura del servicio de agua potable está a cargo de la empresa prestadora de servicios de agua potable(EPSASA).

La Ciudad de Ayacucho tiene como fuente de abastecimiento de agua provenientes del proyecto río Cachi 400 lt/s que representa el 80% de la fuente de captación total ubicado al SE de la Ciudad; canal Chiara 100 lt/s con un canal de conducción de 21km y 4 captaciones tales como: bocatoma Molinohuaycco ubicada en las coordenadas UTM E585,003N'531,100m que aporta un caudal de 45 lt/s, bocatoma Ccoscohuaycco ubicada en las coordenadas UTM E585,019N8'531,279 que aporta un caudal de 20 lt/s, bocatoma Mutuhuaycco ubicada en las coordenadas UTM E584,280N8'532,188 que aporta un caudal de 10 lt/s, bocatoma Lambrashuaycco ubicada en las coordenadas UTM E585,893N8'536,024 que aporta un caudal de 25 lt/s. Estas fuentes superficiales tienen una capacidad limitada de producción de agua, con la tendencia a la disminución de su cantidad y calidad, debido a situaciones ambientales y urbanas, tanto locales como globales, que afectan cada día más la producción de tan preciado recurso, tales como la contaminación de ríos y quebradas por desarrollos de poblaciones rurales y ampliación de las fronteras agrícolas, deforestación, cambio

climático entre otras. La población urbana y rural (niños adultos, y agricultores), carecen de conciencia sobre los efectos a largo plazo de su comportamiento, sus acciones y toma de decisiones están basadas en una visión de corto plazo, básicamente debido a la pura necesidad de supervivencia y a un muy pobre nivel de educación.

De acuerdo a la empresa prestadora de servicios de agua potable (EPSASA,2012), el sistema de tratamiento de agua potable para la Ciudad de Ayacucho está compuesta por dos plantas de potabilización ubicadas en la zona de Quicapata del distrito de Carmen Alto con una producción anual de agua potable de 13'806,000 M3. El sistema de distribución del agua potable está dividida en 11 sectores de abastecimiento y 27 zonas de presión regulados por los siguientes reservorios: reservorio Acuchimay que abastece a 2 subsectores o zonas de presión(A1 y A2)que constituyen el 25% del población servida, reservorio Libertadores 1 que abastece a 3 subsectores o zonas de presión del lado sur(L1,L2,L3)que representa el 10% de la población servida, reservorio Libertadores 2 la cual abastece a 5 subsectores o zonas de presión de lado norte(L1,L2,L3,L4,L5)que representa el 23% de la población servida, reservorio de Miraflores que abastece a 3 zonas de presión(M1,M2,M3)que representa el 22% de la población servida, reservorio de Quicapata que abastece a 3 zonas de presión(Q1,Q2,Q3)que representa el 11% de la población servida, reservorio de Pueblo Libre(bombeo)abastece a un sub sector que representa el 2% de la población servida, reservorio la Picota(bombeo)que abastece a 2 subsectores o zonas de presión(PI1y PI2) que representa el 1.5% de la población servida, reservorio Vista Alegre(bombeo) abastece a 1 sub sector(VA1) que representa el 2.5% de la población servida, reservorio San José que abastece a 1 subsector que representa el 0.5% de la población servida de la población, reservorio Rio Seco(bombeo)que abastece a 2 sub sectores o zonas de presión(P1,P2)que representa el 1.5% de la

población servida, reservorio Alto Perú(bombeo)que abastece a 1 subsector que representa el 0.5% de la población servida. Al 31 de Diciembre del 2012 el sistema de distribución de agua potable en la localidad de Ayacucho tiene una extensión total de 343,866 ml., compuesto por diámetros que van desde 3",4" y 6" que forman las redes secundarias, de 8",10" y 12" que forman las redes matrices, y de 14" y 16" que forman las líneas de conducción y aducción.

El agua dulce es esencial para el mantenimiento de la vida y puede convertirse en el principal problema mundial en el corto o mediano plazo, la desigual distribución del recurso tanto física como socialmente, aunado a la contaminación del mismo por parte del mal uso de productos fertilizantes, industriales; Perú en especial la Ciudad de Ayacucho no escapan a este problema, aunado al rápido crecimiento de la población, la intermitencia del servicio en unos casos.

Entonces, es necesario desarrollar un modelo dinámico para predecir el abastecimiento del agua potable para la Ciudad de Ayacucho 2010-2020; mediante la dinámica de sistemas, la teoría general de sistemas, el software de simulación Vensim, con el propósito de satisfacer la demanda de usuarios del agua potable, con la finalidad de contar con un modelo de sistema dinámico para predecir el abastecimiento del agua potable.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 PROBLEMA PRINCIPAL

¿Cómo desarrollar un modelo dinámico para la predicción del abastecimiento del agua potable en la Ciudad de Ayacucho, al 2020?

1.2.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS

a. ¿Cuál es la estructura del diagrama causal para predecir el

abastecimiento del agua potable?.

- b. ¿Qué diagrama de Forrester permite predecir el abastecimiento del agua potable?.
- c. ¿Cuál será la demanda del agua potable al 2020?.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo dinámico para predecir el abastecimiento del agua potable para la Ciudad de Ayacucho al 2020; mediante la dinámica de sistemas, la teoría general de sistemas, un software de simulación, con el propósito de satisfacer la demanda de usuarios del agua potable, con la finalidad de contar con un modelo de sistema dinámico para predecir el abastecimiento del agua potable.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Construir el diagrama causal para predecir el abastecimiento del agua potable, identificando las variables relevantes y analizando los lazos de realimentación, con la finalidad de tener la estructura del sistema dinámico.
- b. Diseñar el diagrama de Forrester para pronosticar el abastecimiento del agua potable con la finalidad de validar el modelo dinámico.
- c. Simular la producción y demanda de agua potable con la finalidad de tener los pronósticos al 2020.

1.4 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

¿El modelo dinámico permite predecir el abastecimiento del agua potable en la Ciudad de Ayacucho al 2020?.

1.5 JUSTIFICACION Y DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

1.5.1 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo puede servir como punto de partida para futuras investigaciones sobre los recursos hídricos en la Ciudad de Ayacucho, de bases e informaciones para posteriores análisis, siendo este trabajo, pionero en el abordaje de esta problemática, desde la óptica de la dinámica de sistemas.

La dinámica de sistemas utilizado en este trabajo ha mostrado ser muy eficiente para la simulación de un sistema complejo de agua potable, su mérito reside en la velocidad con que se puede desarrollar el modelo, facilidad para mejorar el mismo y las posibilidades que da para efectuar análisis de escenarios.

1.5.2 DELIMITACIÓN

DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación se realizó en los cuatro distritos de la Ciudad de Ayacucho: Distrito capital, San Juan Bautista, Carmen Alto y Jesús Nazareno con una área de territorio urbano aproximadamente de 2,350 Has.

DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación se realizó con la información histórica del año 2005 al 2010 para validar el modelo y la proyección al 2020.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Orellana (2006), en su tesis titulada "Sostenibilidad de los Recursos Hídricos en Sao Miguel do Anta, Minas Gerais: Un enfoque de Dinámica de Sistemas", concluye que se ha examinado escenarios que comprenden futuros aumentos en la demanda de agua y restricciones en la oferta de agua disponible, en el Municipio de Sao Miguel do Anta; se determinaron las principales variables y sus respectivas interrelaciones, conformándose así, la estructura del modelo de oferta y demanda hídrica; los resultados obtenidos permitieron constatar que el modelo está estructurado y se comporta de forma coherente a los datos existentes en la realidad, lo que lo torna adecuado para la simulación; el modelo desarrollado, permitió aumentar la comprensión, acerca de la forma de funcionamiento del sistema de recursos hídricos del Municipio, esto lo convierte en un valioso instrumento computacional de auxilio a los formuladores de políticas para el planeamiento de los recursos hídricos en el local de estudio; por último es importante señalar, que el enfoque de dinámica de sistemas, utilizado en este trabajo ha mostrado ser muy eficiente para la simulación de un sistema complejo de recursos hídricos.

Peña (2008), en su tesis titulada "Modelo del sistema de distribución de aguas blancas de la ciudad de Mérida", concluye que se elaboró un modelo de simulación del sistema de distribución de aguas blancas de la Ciudad de Mérida, que permitió estudiar escenarios de políticas de mejoramiento del servicio en cara a la creciente demanda de agua de la Ciudad; los resultados demuestran que el funcionamiento del sistema se ve más afectado ante un aumento en la cantidad demandada que ante una

reducción en el total producido por las plantas potabilizadoras, también se observó que con una disminución del 5% en el consumo total del agua en el sistema se incrementaría en 76.22%, lo que implica que el sistema no operaría al límite de aplicar la política de racionamiento, ya que estaría en mejores condiciones a la hora de enfrentar cualquier cambio brusco tanto en las tasas de producción como en la demanda de usuarios; para llevar a cabo dicha reducción en la demanda, se debería tener mayor control sobre los usuarios clandestinos e incrementar la cantidad de clientes cubiertos por el sistema de micro medición, ya que de ser así, la empresa realizaría una facturación de acuerdo al consumo del cliente, evitando que el consumo per cápita sea excesivo e imposibilite el equilibrio entre la producción y la demanda.

Orozco (1999), en su tesis "Alternativas de Manejo al problema de Abastecimiento Hídrico a través de la Dinámica de Sistemas", concluye que el proceso de construcción del modelo de dinámica de sistemas y de simulación a través de él, para el abastecimiento hídrico, ha permitido a través de la integración de elementos básicos de su manejo, la observación de comportamientos probables en la disponibilidad no solo del recurso hídrico sino también de los recursos económicos involucrados en el mismo manejo; el diseño de escenarios se hizo incrementando gradualmente el nivel de complejidad del modelo, logrando obtener cambios significativos en los comportamientos al incluir factores de gran relevancia para el proceso administrativo del agua, que solo a través de un modelo dinámico, con procesos de realimentación y recurrencia, podría ser observado, la utilización frecuente de modelos lineales podría no ser la adecuada para la planeación de procesos tan complejos como el mostrado en el presente trabajo; la administración del recurso hídrico tal y como se da hoy en día, es susceptible de ser mejorada, sin embargo, su mejoramiento debe ser observado globalmente de forma tal que se

considere la mayor cantidad de variables relevantes al sistema y las posibles influencias que se generan al afectar unas u otras variables, solo de esta forma es posible observar el impacto real, y no sesgado, de los factores considerados.

León y Quintana (2008), en su trabajo de Licenciatura titulada "Propuesta de aprovechamiento sustentable del recurso hídrico, Municipio Juan Antonio Sotillo" concluye la enorme importancia que reviste el agua potable para el Municipio Juan Antonio Sotillo y que las condiciones climáticas del área en estudio y en especial de la cuenca del río Neverí, presentan altos índices de evaporación y altas temperaturas promoviendo que estos espacios sean definidos como de tipo semiáridos predominantemente, debido a la relativa proximidad al área costera; el crecimiento de la población a través de los lapsos censales(1971-2001), demuestra que las tendencias en la evolución de los centros poblados será ascendente hasta el 2018, ejerciendo mayores demandas sobre el sistema de acueductos metropolitano.

Domínguez y Moreno (2008), en su trabajo de investigación titulada "Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano", concluye que Las relaciones demanda-oferta de agua para los sectores socioeconómicos de Colombia constituyen un indicador del estado del recurso hídrico en el país, su expresión mediante el índice de escasez de agua permite vislumbrar un panorama en el que las magnitudes de demanda y de oferta máximas no coinciden en el espacio, ocasionando conflicto y altos niveles de presión sobre el recurso hídrico, esta situación, que refleja un uso inapropiado del territorio, es el resultado de una planeación con mecanismos inapropiados de asignación del agua, que en muchos casos, gracias a la ausencia de sistemas de seguimiento del

estado del recurso hídrico amplifica la presión sobre el recurso hídrico dada la ausencia de elementos técnicos para la toma de decisiones en sectores de alta demanda hídrica, la solución ante tal contexto consiste en el fortalecimiento de la gestión integral del recurso hídrico, especialmente en las estrategias no sólo de protección de la oferta hídrica existente, de la expansión de las redes hidrométricas y de otros mecanismos de seguimiento del recurso, sino también de reducción de la demanda de agua, con el fortalecimiento de los programas de ahorro y uso eficiente del agua y a la intensificación de los mecanismos limpios de producción.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 MODELO DINÁMICO

Aracil (1986), manifiesta que un modelo dinámico es un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones, de esta forma se puede elaborar modelos que buscan representar la estructura del sistema mismo.

Rosnay (1988), conceptúa como una representación de la conducta dinámica de un sistema, mientras un modelo estático involucra la aplicación de una sola ecuación, los modelos dinámicos, por otro lado, son reiterativos, constantemente aplican sus ecuaciones considerando cambios de tiempo.

A. DIAGRAMA CAUSAL

"El diagrama causal es un diagrama que recoge los elementos clave del sistema y las relaciones entre ellos" García (2003).

Aracil (1986), manifiesta que un diagrama causal es el conjunto de las relaciones entre los elementos de un sistema, a las flechas que representan

las aristas se puede asociar un signo, este signo indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son, o no, del mismo signo, de este modo, asociando un signo a las relaciones de influencia, se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, aunque continúe conservando su carácter cualitativo.

“Permite conocer la estructura de un sistema dinámico, la que viene representada por la especificación de las variables que aparecen de acuerdo a sus componentes, por el establecimiento de la existencia, o no, de una relación de causa-efecto entre cada par de variables, en este nivel lo único que interesa es si existen relaciones o no” (Shell, 1998).

Según Morlán (2010), un diagrama causal es una herramienta para mostrar la estructura y las relaciones causales de un sistema para entender sus mecanismos de realimentación en una escala temporal, los elementos básicos son las variables o factores y los enlaces o flechas. Una variable es una condición, una situación, una acción o una decisión que puede influir o puede ser influida por, otras variables. Uno de los puntos fuertes de los diagramas causales es su capacidad de incorporar variables cualitativas, también llamadas variables.

“Constituye uno de los hitos importantes en el proceso de modelización, ya que para llegar al diagrama causal cada elemento debe tener un nombre propio; hay que tener detectadas las interrelaciones entre elementos y debe conocerse su signo. Con el establecimiento de diagrama causal, los elementos pasan a denominarse magnitudes (variables y parámetros); lo cual constituye un grado de formalización mayor al existente hasta entonces (Mateu, 2004)”.

Según Galgano (1995), el diagrama causal es un gráfico que muestra las relaciones entre una característica y sus factores o causas. Una vez

elaborado el diagrama causal, este representa de forma ordenada y completa todas las causas que pueden determinar cierto problema y constituye una utilísima base de trabajo para poner en marcha la búsqueda de sus verdaderas causas, es decir, el auténtico análisis causa efecto.

Luemberger (1997), manifiesta que el diagrama causal muestra el comportamiento del sistema, permite conocer la estructura de un sistema dinámico, dada por la especificación de las variables y la relación de cada par de variables.

Sterman (2000), manifiesta que los diagramas causales son una herramienta útil en dinámica de sistemas, ellos ilustran la estructura de realimentación del sistema, al ser una concepción conceptual, también sirven para identificar los mapas mentales de las personas u organizaciones.

Según Tuya, Ramos y Dolado (2000), un diagrama causal es un grafo orientado en el que los nodos representan los elementos del sistema y las aristas las relaciones entre dichos elementos. Un aspecto importante a destacar es que las relaciones existentes entre dos nodos de este grafo representa realmente una relación de causa-efecto. Es decir, una arista en un diagrama causal que conecta a dos nodos, A y B, por ejemplo, indicará que si sobre A se produce un cambio de estado, éste afectará al estado de B.

Para indicar el modo en que un cambio en A afecta a B se suele etiquetar la arista que los conecta con un símbolo positivo o negativo. Se utiliza un signo positivo siempre que se quiera indicar que un cambio en A afecta en el mismo sentido a B; es decir, si se produce un aumento en A, entonces B aumentará, o si A disminuye, entonces también B disminuirá. Si, por el

contrario, los cambios en A afectan de forma inversa a la evolución de B, es decir, un aumento en A produce una disminución en B o viceversa, entonces la arista se etiqueta con un signo negativo, según se indica a continuación.

A → **B**, Significa que "A tiene influencia en B".

A → **B+**, Significa que "a un aumento de A corresponde un aumento de B"(relación positiva).

A → **B-**, Significa que "a un aumento de A corresponde una disminución de B" (relación negativa).

B. BUCLE O LAZO

"Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, realimentación o feed-back"(García,2003).

Según García (2003), la cibernética introduce la idea de circularidad a través del concepto de retroalimentación o feed-back, rompiendo con la ciencia newtoniana clásica en la que los efectos se encadenan de forma lineal, la idea de circularidad desarrollada por Wiener se centra en el feed-back negativo que permite la autorregulación del sistema ante posibles perturbaciones. En 1963 Maruyama estudió el feed-back positivo que, a diferencia del negativo amplifica la desviación(sistemas "amplificadores"), la utilización de este concepto puede permitir explicar la evolución de los sistemas sociales en los cuales existen los dos tipos de retroalimentación.

Lazo de realimentación negativa

Un bucle de realimentación negativa tiene la notable propiedad de que si, por una acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación. En efecto, consideremos el bucle de la Figura Nº 2.1, en el que los

elementos se han representado, de forma general, mediante las letras A, B y C. Supongamos que uno cualquiera de ellos, por ejemplo el B, se incrementa en virtud de las relaciones de influencia, el incremento de B determinará el de C, ya que la relación de influencia correspondiente es positiva. A su vez, el incremento de C determinará el decrecimiento de A, ya que así lo determina el carácter negativo de la influencia. El decrecimiento de A dará lugar al de B, pues la relación es positiva. Por tanto, el incremento inicial de B le «vuelve», a lo largo de la cadena de realimentación, como un decremento; es decir, la propia estructura de realimentación tiende a anular la perturbación inicial, que era un incremento, generando un decremento (Aracil, 1990).

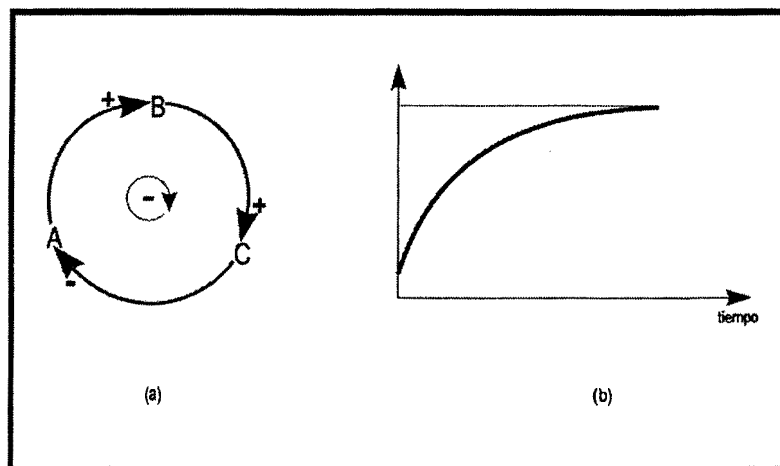


Figura Nº 2.1: Diagrama de un bucle de realimentación negativa(a) y comportamiento correspondiente (b) (Aracil, 1990)

a. Lazo de realimentación positiva

La otra forma que puede adoptar un bucle de realimentación es la que se muestra en la Figura Nº 2.2, en la que se tiene un bucle de realimentación positiva. Se trata de un bucle en el que todas las influencias son positivas (o si las hubiese negativas, tendrían que compensarse por pares). En general la Figura Nº 2.2 representa un proceso en el que un estado determina una acción, que a su vez

refuerza este estado, y así indefinidamente. En este caso el estado es una población, y la acción su crecimiento neto. En tal caso, cuanto mayor sea la población, mayor es su crecimiento, por lo que a su vez mayor es la población, y así sucesivamente.

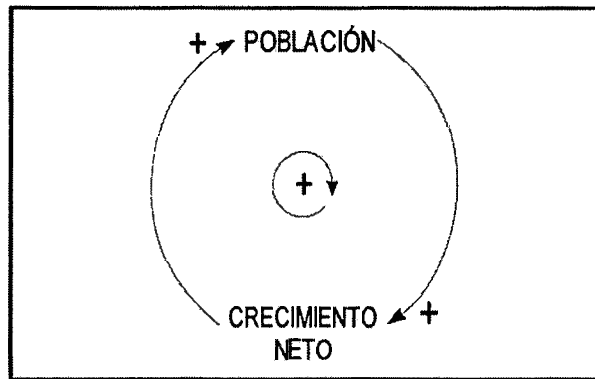


Figura Nº 2.2: El crecimiento de una población como proceso de realimentación positiva(Aracil, 1990)

En la Figura Nº 2.3 se representa de forma esquemática, mediante las letras A,B Y C un bucle de esta naturaleza, con ayuda de este diagrama se puede analizar, de forma general, el comportamiento que genera este bucle.

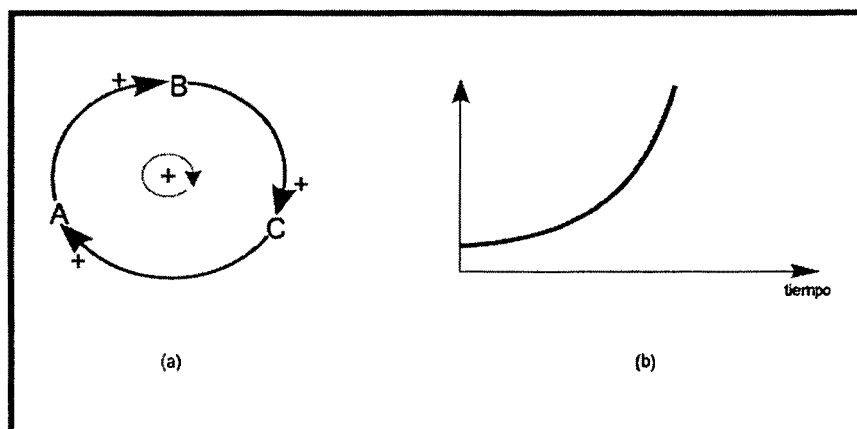


Figura Nº 2.3: Estructura de realimentación positiva(a) comportamiento correspondiente (b) (Aracil, 1990)

En su forma más simple el diagrama de influencias está formado por lo que se conoce como un grafo orientado. A las flechas que representan las aristas se puede asociar un signo. Este signo indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son, o no, del mismo signo. Supongamos que entre A y B existe una relación de influencia positiva.

Ello quiere decir que si A se incrementa, lo mismo sucederá con B; y, por el contrario, si A disminuye, así mismo lo hará B. Por otra parte, si la influencia fuese negativa a un incremento de A seguiría una disminución de B, y viceversa. De este modo, asociando un signo a las relaciones de influencia, se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, aunque continúe conservando su carácter cualitativo, el grafo correspondiente se dice que está signado.

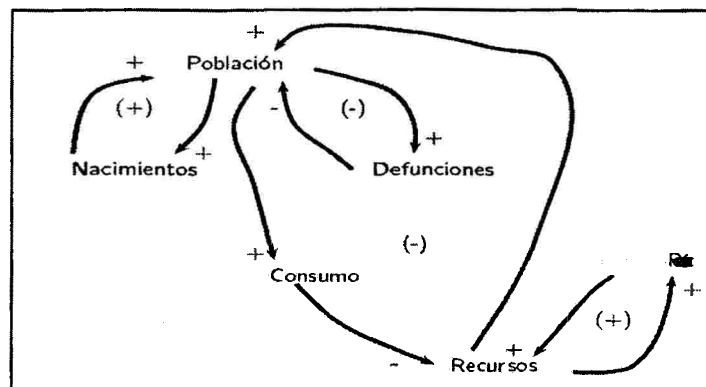


Figura Nº 2.4: Diagrama causal (Aracil,1990)

C. DIAGRAMA DE FORRESTER

Según García(2003),un diagrama de Forrester permite la representación de las variables del modelo a través de tres tipos de variables: las de nivel, de flujo y auxiliares, los niveles representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado, las variables de flujo determinan las variaciones en los niveles del sistema, las variables auxiliares representan pasos o etapas en que se

descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles. El diagrama de flujos también denominado diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas, es una traducción del diagrama causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador.

Según Morlan(2010),una de las características distintivas de la dinámica de sistemas son los diagramas de niveles y flujos, más conocidos como diagramas de Forrester, junto con la realimentación, los conceptos fundamentales de la dinámica de sistemas son los recipientes (stocks), llamados niveles, y los flujos.

Aracil (1992), conceptúa como el diagrama que se obtiene a partir de un diagrama de influencias, clasificando sus nodos en variables de nivel, flujo o auxiliares y asociando a esos nodos los iconos correspondientes recibe la denominación de diagrama de Forrester o diagrama de flujos-niveles.

"Es una representación simbólica de las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal una vez identificadas y constituye un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que le corresponde" Gordillo (1995).

De acuerdo a Zavala(2011), los diagramas de Forrester son la representación matemática de los diagramas causales, se construyen clasificando las variables en variables de nivel, flujo o auxiliares, para formar un modelo integrado con ecuaciones diferenciales de primer orden.

"Es el diagrama característico de la dinámica de sistemas, es la traducción del diagrama causal a una terminología que facilita la escritura de ecuaciones en el ordenador "Morales (2010). Este tipo de diagrama es

más completo que un diagrama causal es un paso intermedio entre el diagrama causal y el modelo matemático formal. Se clasifican las variables en tres tipos:

Variables de nivel

Drew(1995), la define como una variable del sistema cuyo valor variará con el tiempo. Ejemplos: concentración atmosférica de CO₂, número de herbívoros en un ecosistema, concentración de plomo en un río. Son aquellas variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema y son equivalentes a las variables de estado de un sistema en descripción interna, físicamente se definen como magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado, como ocurre en los niveles de los depósitos de la analogía hidrodinámica que acumulan líquido resultado de la apertura de las válvulas, de ahí el nombre de variable de nivel.

Variables de flujo

Aracil(1990), conceptúa como los únicos elementos que realmente actúan sobre los niveles y representan el aumento o disminución de cada nivel por unidad de tiempo. Son aquellas variables que determinan las variaciones en las variables de nivel del sistema y caracterizan las acciones que se toman en el sistema las cuales quedan acumuladas en los niveles correspondientes. Físicamente expresan como se convierte la información disponible del sistema en una acción y están asociadas a las válvulas de la analogía hidrodinámica.

Variables auxiliares

Según García(2003), las variables auxiliares representan pasos en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

Agrupando los elementos mencionados obtenemos la estructura general de un modelo de dinámica de sistemas en la que a cada nivel se le puede asociar un flujo de entrada y un flujo de salida. En términos matemáticos es equivalente a una ecuación integral del saldo entre flujos o a una ecuación diferencial del saldo entre tasas de cambio de flujos, que indica la tasa neta de acumulación del nivel y puede ser resuelta por medio de métodos de aproximación como la ecuación de euler, donde el valor que toma la variable de nivel en el instante $t+\Delta t$ es el valor que tenía en t más el saldo neto de los flujos de entrada y salida en t multiplicado por el salto temporal Δt (ver Figura N° 2.5).

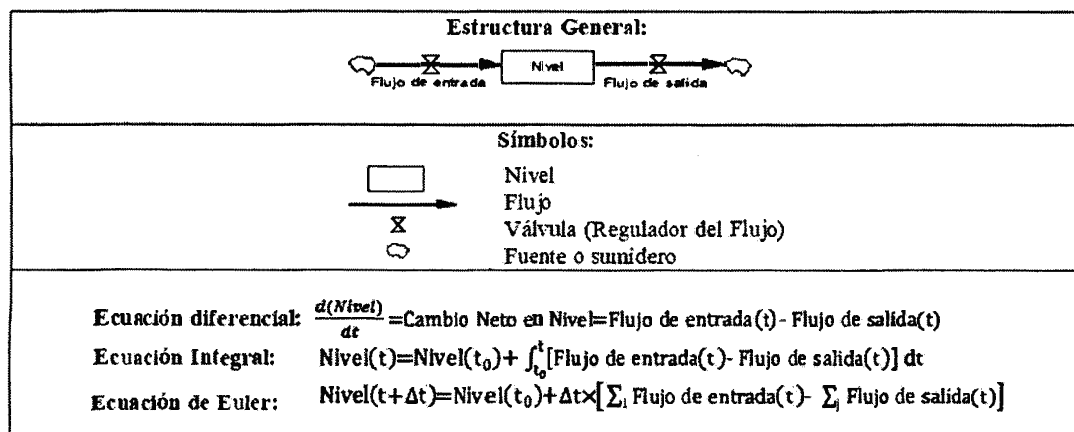


Figura N° 2.5: Simbología y formulación de Forrester(Sterman,2000)

2.2.2 ABASTECIMIENTO DEL AGUA POTABLE

"Conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionados por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua mediante conexión domiciliaria, para un abastecimiento convencional cuyos componentes cumplan las normas de diseño del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento; así como aquellas modalidades que no se ajustan a esta definición como el abastecimiento mediante camiones cisterna u otras alternativas, se entenderán como servicios en condiciones especiales" (MINSa Perú,2005).

"Conjunto de tuberías, instalaciones y accesorios destinados a conducir las aguas requeridas bajo una población determinada para satisfacer sus necesidades, desde su lugar de existencia natural o fuente hasta el hogar de los usuarios" (SEDAPAL, 2010).

Según la OMS (2008), un sistema de abastecimiento de agua es el conjunto de infraestructura, equipos y servicios destinados al suministro de agua para consumo humano.

Los principales componentes hidráulicos en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo al tipo de suministro, son los siguientes:

A. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA CRUDA

Según la SUNASS (2007), son las fuentes de origen del agua cruda ya sean estas superficiales o subterráneas.

Aguas superficiales

Estas comprenden ríos, lagos, arroyos, embalses canales, lagunas; que discurren naturalmente en la superficie terrestre (Saravia, 2004).

Aguas subterráneas

Bartoli(2008),las aguas se filtran en el suelo provenientes de las precipitaciones, ríos, lagos y lagunas de fondo permeable, descienden por acción de la gravedad y su velocidad de penetración es inversamente proporcional al grado de permeabilidad de los suelos que atraviesa; la captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos (excavados y tubulares).

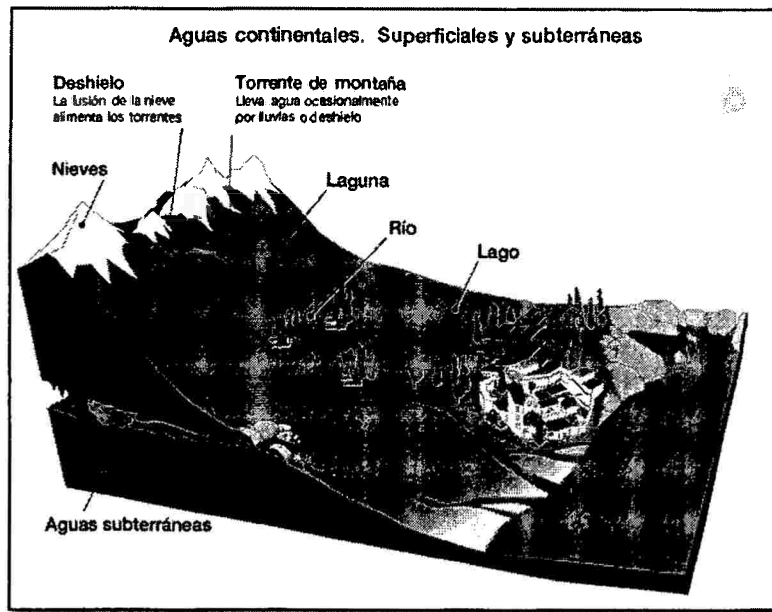


Figura 2.6: Representación gráfica sobre aguas superficiales y subterráneas(ANA, 2005)

B. CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA

"Consiste en captar agua cruda desde las fuentes de la naturaleza, sean éstas superficiales o subterráneas y conducirla mediante gravedad o impulsión hacia la planta de tratamiento" (Sunass,2007).

Según SEDAPAL (2010), es el origen del abastecimiento, el agua bruta puede provenir de aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, canales, etc) o de aguas subterráneas (pozos, manantiales, surgencias), cuanto mayor calidad tenga, menores serán los tratamientos de potabilización a los que habrá que someterla, en ocasiones se construyen depósitos de reserva de agua bruta, que aseguran el suministro durante un cierto tiempo en caso de cortes de la fuente de abastecimiento.

Para Escolero (2009), son las obras necesarias para captar el agua de la fuente a utilizar y pueden hacer por gravedad, aprovechando la diferencia de nivel de terreno o por impulsión (bombas).

Según Orellana (2005), las obras de toma o captación de aguas superficiales tales como lagos, embalses y corrientes de agua de régimen permanente, deben ser adecuadas a la importancia del servicio a prestar, en los embalses se suelen construir torres de tomas libres o adosadas al paramento mojado del dique, en los ríos y lagos las obras de toma se colocan a una distancia prudencial de la orilla y la boca de afluentes a un nivel no alcanzable por las impurezas que flotan y por las que se puedan removerse del lecho. A modo de ejemplo se muestra en la figura N° 2.7 la captación de agua en un río.



Figura N° 2.7: Captación de agua ubicada en un río(Orellana,2010)

C. LÍNEA DE CONDUCCIÓN DEL AGUA

Según EPSASA(2077), está conformado por un sistema de canalización que va acumulando los caudales procedentes de cada captación, hasta su destino final que es el embalse, los canales existentes son secciones trapezoidales y revestido con mampostería de piedra o concreto en toda su sección transversal.

"Tiene por finalidad transportar el agua captada en las tomas hasta la planta de tratamiento, o desde la planta hasta la ciudad para su distribución, la línea de conducción puede ser un canal abierto o por conducto cerrado" (Orellana, 2005).

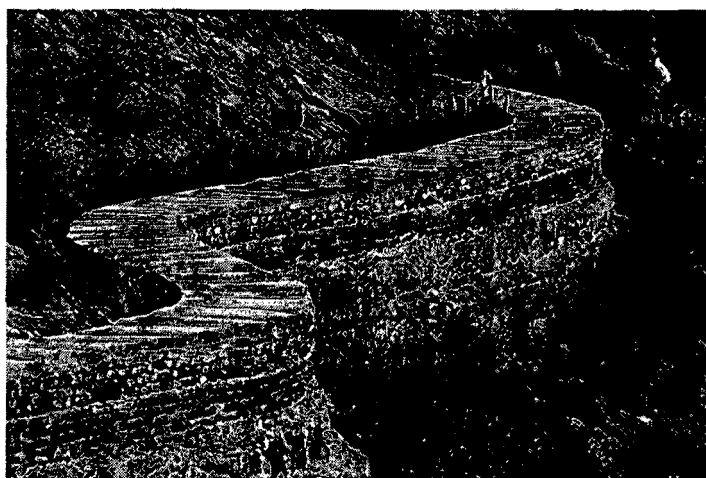


Figura N° 2.8: Conducción de agua cruda(Martínez,2009)

D. TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

"En la planta de tratamiento se realiza el proceso de potabilización del agua cruda mediante procesos mecánicos y químicos, entregando como producto de salida, agua potable" (Peña, 2008).

Según MINSA (2008), se realiza en la planta potabilizadora y es el conjunto de tratamientos que permiten que el agua sea apta para el consumo humano y pueda beberse con garantía de calidad, la desinfección es el tratamiento más importante.

Según Escolero (2009), el tratamiento del agua para hacerla potable es la parte más delicada del sistema, el tipo de tratamiento es muy variado en función de la calidad del agua bruta.



Figura N° 2.9: Planta de tratamiento de agua potable (SEDALIB, 2010)

E. ALMACENAMIENTO DEL AGUA POTABLE

Según el MINSA Perú (2008), el almacenamiento del agua ya tratada debe realizarse en depósitos protegidos, bien conservados y limpios, con frecuencia se construyen depósitos elevados para asegurar la distribución por gravedad desde el depósito de almacenamiento de agua tratada.

Según la OMS(2009), el almacenamiento del agua tratada tiene la función de compensar las variaciones horarias del consumo, y almacenar un volumen estratégico para situaciones de emergencia, como por ejemplo incendios, existen dos tipos de tanques para agua tratada, tanques apoyados en el suelo y tanques elevados, cada uno dotado de dosificador o hipoclorador para darle el tratamiento y volverla apta para el consumo humano.

Desde el punto de vista de su localización con relación a la red de distribución se distinguen en tanques de cabecera y tanques de cola:

- a. Los tanques de cabecera, se sitúan aguas arriba de la red que alimentan, toda el agua que se distribuye en la red tiene necesariamente que pasar por el tanque de cabecera.

- b. Los tanques de cola, como su nombre lo dice, se sitúan en el extremo opuesto de la red, en relación al punto en que la línea de aducción llega a la red.

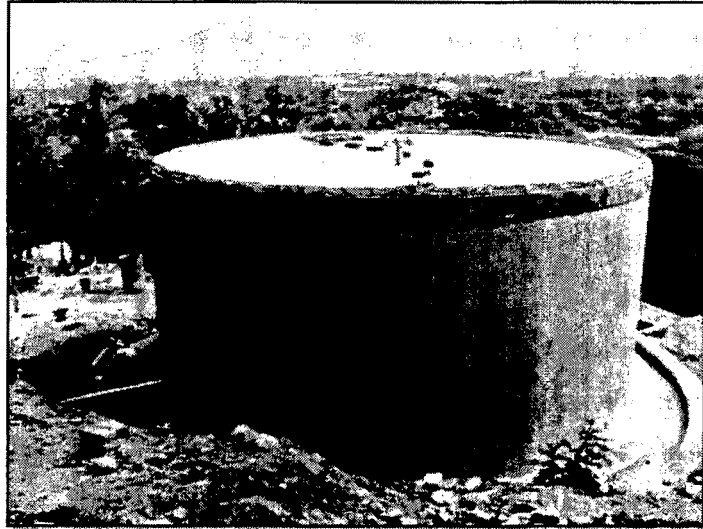


Figura 2.10: Almacenamiento de agua potable
Fuente: MINSA, Perú

En general, los elementos que componen un sistema de agua potable son los siguientes: captaciones (subterráneas o superficiales), canales de conducción, plantas de tratamiento, redes de distribución, estanques de regulación, matrices, redes, conexiones domiciliarias.

F. DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Consiste en portear el agua potable desde la planta de tratamiento o estanques de distribución por medio de conducciones y entregarla en la entrada de la casa o industria del usuario, mediante una red de tuberías, este sistema comprende conducciones, red de tuberías de distinto diámetro, estanques y plantas de elevación de ser requerida impulsión (Ordoñez, 2005).

Los sistemas de distribución de agua potable transportan el agua desde una fuente de abastecimiento o planta de tratamiento hasta las personas que las consumen, la distribución de agua requiere infraestructura esta infraestructura puede variar desde complejos sistemas de tuberías hasta los más sencillos contenedores de agua (OMS, 2009).

De acuerdo a Becerra(2007), una red de distribución de agua potable es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos, su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios.

Redes matrices.- Un componente de gran importancia en cuanto a infraestructura se refiere, para la conducción y distribución de agua potable son las redes por donde se conduce y distribuye, la malla principal del servicio de la Ciudad y que distribuye el agua procedente de la conducción desde las plantas de tratamiento, las redes matrices mantienen las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema y generalmente no reparten agua en ruta (Escobedo, 2008).



Figura N° 2.11: Distribución de agua potable (SEDAPAL, 2009).

2.2.3 PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Captación y tratamiento de agua cruda, para su posterior distribución como agua potable, en las condiciones técnicas y sanitarias establecidas en las normas respectivas, se puede producir agua potable a partir de cualquier fuente natural de agua como por ejemplo agua subterránea, lagos y ríos (agua superficial) o agua de mar (Zapata,2000).

Según (MINSA, 2010), al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización, los procesos de potabilización son muy variados, y van desde una simple desinfección, para eliminar los patógenos, que se hace generalmente mediante la adición de cloro, mediante la irradiación de rayos ultravioletas, mediante la aplicación de ozono, etc; estos procedimientos se aplican a aguas que se originan en manantiales naturales o para las aguas subterráneas, para confirmar que el agua ya es potable, debe ser inodora (sin olor), incolora (sin color) e insípida (sin sabor).

De acuerdo a UNICEF(2010), se puede producir agua potable a partir de cualquier fuente natural de agua como por ejemplo agua subterránea, lagos y ríos (agua superficial) o agua del mar; los parámetros de agua potable están establecidos por la organización mundial de la salud (OMS) o por la Unión Europea; el agua destinada al consumo humano no puede contener sólidos suspendidos, microorganismos y compuestos químicos tóxicos.

De acuerdo a Orozco (2010), el proceso de producción de agua potable consiste en la realización de una serie de actividades que permiten la potabilización del agua, con el fin de entregar a los usuarios agua apta

para el consumo humano, algunos de los procesos realizados para la potabilización son:

a. Captación(1)

Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento para su posterior tratamiento de potabilización.

b. Mezcla rápida(2)

En un punto se lleva a cabo el proceso de coagulación, en donde adiciona al agua cruda, el coagulante en dosis dependiendo de las características del agua, buscando la desestabilización de las partículas coloides en suspensión y formar partículas de mayor diámetro.

c. Floculación(3)

Por medio de la coagulación se da paso a la floculación en donde se forma el floculo (grumo), por medio de una suave agitación se unen las partículas en suspensión aumentando su volumen y peso.

d. Sedimentación(4)

El propósito de este proceso físico es el de propiciar la precipitación de las partículas floculadas y logrando reducir las partículas que están en suspensión, como resultado de este proceso, se obtiene agua clarificada, la cual contiene partículas de bajo peso que no pudieron ser retenidas con la decantación.

e. Filtración(5)

El agua clarificada es llevada a los filtros, en donde a través de un medio filtrante mixto, compuesto por antracita, arena y grava, actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (Agua+ partículas) y del medio poroso, en este proceso el medio filtrante se satura (Colmata) con las partículas retenidas.

f. Desinfección(6)

Las aguas filtradas, son sometidas a un proceso de desinfección con el fin de eliminar o destruir organismos patógenos que pueden estar presentes en el agua.

g. Control de Calidad(7)

Por medio de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, horarios y diarios se realiza seguimiento continuo al agua en los diferentes procesos, apoyados por un sistema SCADA, que mide en tiempo real el comportamiento de variables, como pH, Conductividad, Turbiedad y Caudal.

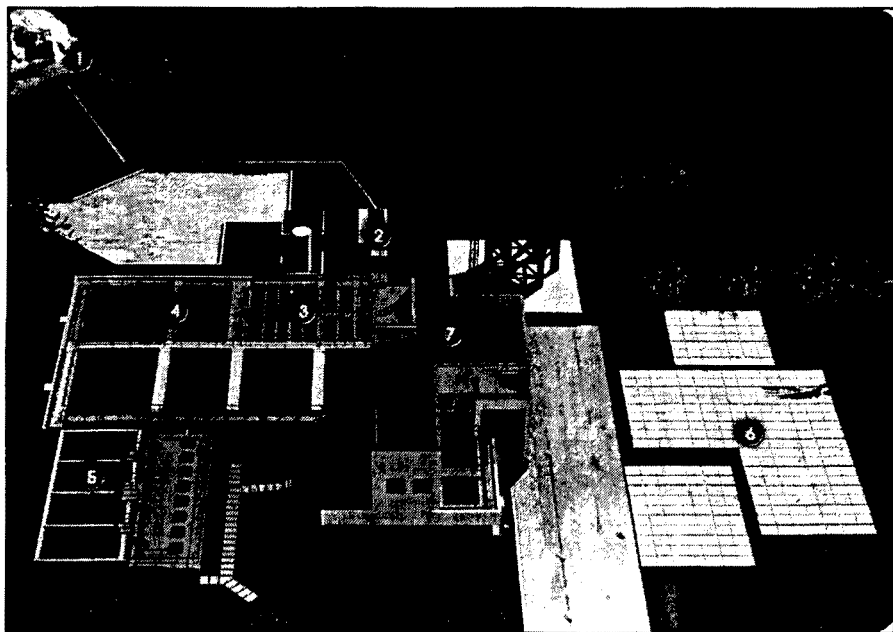


Figura Nº 2.12: Procesos realizados para la producción del agua potable (Orozco, 2010).

2.2.4 DEMANDA DEL AGUA POTABLE

Según la SUNASS (2007), la demanda por el servicio de agua potable está definida por el volumen que los distintos grupos de consumidores están dispuestos a consumir y pagar, las variables utilizados para el cálculo de la demanda de agua potable son: población, consumo per capita, número de conexiones activas, porcentaje de agua no contabilizada, nivel de micro medición. Para tal efecto a partir de la estimación de la

población administrada se definen los niveles de cobertura del servicio de agua potable, estimando la población efectivamente servida. De la determinación de la población servida se realiza la estimación del número de conexiones por cada categoría de usuario, lo cual dado el volumen requerido por cada grupo de usuarios determinará la demanda por el servicio de agua potable que enfrentará la empresa prestadora de dicho servicio en los próximos años. Cabe precisar, que el volumen de la producción de la empresa será equivalente a la demanda por el servicio de agua potable más el volumen de agua que se pierde en el sistema denominado pérdidas físicas.

“La demanda de agua potable se puede obtener a partir de los volúmenes de producción y de factores de consumo de agua por tipo de producto o servicio” (Domínguez, 2005).

“La demanda de agua potable se define como la cantidad y calidad de agua que pueden ser adquiridos por un consumidor (demanda individual) o por el conjunto de consumidores (demanda total o de mercado), en un momento determinado”(OMS, 2008).

2.2.5 TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

Según García (2003), la teoría general de sistemas fue desarrollada por el biólogo Ludwig Von Bertalanffy la década de 1940, el enfoque sistémico pone en primer plano el estudio de las interacciones entre las partes y entre éstas y su entorno, una teoría general de sistemas, idealmente aplicable a cualquier sistema real o imaginable, deberá tratar sistemas con cualquier número de variables de carácter continuo o discreto.

“Estudio transdisciplinario de la organización abstracta de fenómenos, independiente de su sustancia, tipo o escala temporal o espacial de

existencia, investiga los principios comunes a todas las entidades complejas y a los modelos (usualmente matemáticos), los cuales pueden ser usados para describirlos" (Ramírez, 2002).

Según García (2003), la importancia de las interacciones en el enfoque sistémico hará necesario distinguir entre las variables de entrada generadas por el entorno y las variables de salida generadas por el propio sistema.

De acuerdo a Sarabia (1995), la teoría general de sistemas es la historia de una filosofía y un método para analizar y estudiar la realidad y desarrollar modelos, a partir de los cuales se puede intentar una aproximación paulatina a la percepción de una parte de esa globalidad que es el universo, configurando un modelo de la misma no aislado del resto al que llamaremos sistema.

2.2.6 ENFOQUE DE SISTEMAS

Según Churchman(1981), es un esquema metodológico que sirve como guía para la solución de problemas, en especial hacia aquellos que surgen en la dirección o administración de un sistema, al existir una discrepancia entre lo que se tiene y lo que se desea, su problemática, sus componentes y su solución.

"El enfoque de sistemas son las actividades que determinan un objetivo general y la justificación de cada uno de los subsistemas, las medidas de actuación y estándares en términos del objetivo general, el conjunto completo de subsistemas y sus planes para un problema específico" (García ,2003).

"El enfoque sistémico es una disciplina preocupada por ver la totalidad en las estructuras que subyacen en los problemas de análisis. Observar las interrelaciones existentes entre las variables que representan el problema,

se preocupa más por esto que por analizar las variables en forma aislada, procura patrones de cambio más que representaciones estáticas, analiza procesos en vez de objetos" (Gómez,2009).

De acuerdo a Simonovic(2000),el enfoque sistémico es una forma de aprehender la realidad, que nos enseña a articular las complejas interconexiones de causalidades circulares que nos rodean en el mundo en que vivimos, y permite además, que evaluemos las decisiones que tomamos. Engloba una diversa y heterogénea variedad de métodos, herramientas y principios, destinados a examinar la interrelación de fuerzas que constituyen un proceso común ya que todos los sistemas se comportan bajo ciertos principios universales.

Senge(1997),el enfoque sistémico es un marco conceptual, un cuerpo de conocimientos y herramientas, desarrollado para que los patrones totales resulten más claros y para ayudarnos a cambiarlos. Los diagramas causales, los arquetipos y los modelos son herramientas utilizados por éste pensamiento, que nos permiten hablar con mayor claridad de las interrelaciones que se basan en el concepto teórico de los procesos de realimentación). Puede decirse que el pensamiento sistémico es una disciplina preocupada por ver totalidades, para así poder observar las estructuras internas subyacentes en situaciones complejas.

2.2.7 DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas se entiende, en el sentido de Forrester (1968), como una metodología para entender el cambio, utilizando las ecuaciones en diferencias finitas o ecuaciones diferenciales. Dada la representación de estos procesos podemos estudiar la dinámica del conjunto de los estados disponibles por el sistema que es el tema central de la modelación. La Dinámica de Sistemas tiene su origen en la década

de los años 30 cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos, que son instrumentos en los que existe una retroalimentación desde la salida a la entrada.

Silvio y Requena (1988), es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo y que tenga características de existencias de retardo y bucles de Realimentación.

Forrester (1981), estudia las características de realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar como la estructura organizativa, la amplificación (de políticas) y las demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa.

Aracil (1997), es un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica. La dinámica de sistemas suministra un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema, y explicar cómo se genera su comportamiento.

A. PROCESO DE LA APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

En el proceso de construcción de modelos con dinámica de sistemas se distinguen tres fases: la conceptualización, la representación o formulación, la evaluación y análisis (ver Tabla N° 2.1). La conceptualización comprende la descripción verbal del sistema, la definición precisa del problema y la construcción del diagrama causal, con el que se simplifica al sistema. La Representación o formulación, donde se construye el diagrama de Forrester, que representa el modelo por medio de la simbología creada por Forrester; el sistema de ecuaciones con el que se concreta la formalización matemática de las relaciones causales identificadas; y se realiza el calibrado, que consiste en dar valores a los parámetros de las

ecuaciones del modelo. Y la última fase de evaluación del modelo, consiste en realizar diferentes evaluaciones para validar la bondad del modelo, los contrastes más básicos son la consistencia de unidades de medida y de las ecuaciones planteadas. Por último se desarrolla la implementación y análisis, que consiste en realizar las simulaciones del modelo con las que se obtienen trayectorias que muestran la evolución del sistema.

| |
|--|
| <p><i>Conceptualización</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción verbal del sistema 2. Definición precisa del problema 3. Construcción del diagrama causal |
| <p><i>Representación o formulación</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Construcción del diagrama de Forrester 5. Establecimiento del sistema de ecuaciones 6. Calibrado |
| <p><i>Evaluación y Análisis</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Evaluación del Modelo 8. Análisis e implementación |

Tabla Nº 2.1: Proceso de construcción de un modelo con dinámica de sistemas. López y Martínez(2000).

B. APLICACIONES DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Según García (2003), la dinámica de sistemas es una metodología ideada para resolver problemas concretos, originalmente se denominó dinámica industrial. A mediados de los 60, Forrester propone la aplicación de la técnica que había desarrollado originalmente para los estudios industriales, a sistemas urbanos, surge así lo que se denominó la dinámica urbana en la que las variables consideradas son los habitantes en un área urbana, las viviendas, las empresas, etc.; durante sus más de 40 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias.

“En sistemas sociológicos ha encontrado multitud de aplicaciones, desde aspectos más bien feóricos como la dinámica social de Pareto o de Marx ,

hasta cuestiones de implantación de la justicia. Un área en la que se han desarrollado importantes aplicaciones es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se han estudiado, tanto problemas de dinámica de poblaciones, como de difusión de la contaminación" (Sterman, 2000).

2.2.8 SIMULACIÓN

Según García (2003), es la proyección de lo que ocurrirá en el mundo real a través del tiempo, el sistema cambia de estado debido a su dinámica interna o políticas planteadas. El propósito de diseñar el modelo, es hacernos percibir los límites de nuestra intuición cuando nos enfrentamos a una cierta complejidad, unos retrasos temporales o alguna realimentación. Con ello veremos los comportamientos posibles e imposibles que se pueden producir en el sistema. Para construir y simular el modelo de sistemas dinámicos se debe usar una técnica. Con ella realizaremos las tareas concernientes a la creación del modelo, tales como; construcción de niveles, determinación de flujos, establecimiento de variables auxiliares, determinación de constantes, horizonte de simulación, graficar las relaciones, determinación de ecuaciones o formalización, para luego simular el comportamiento del modelo y realizar nuestras conclusiones.

"La simulación es el estudio de un sistema o sus partes mediante manipulación de su representación matemática o de su modelo físico" (Himmelblau y Bischoff, 1998).

Coss(2003), la simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas

complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.

Según Shannon(2008),la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias - dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema.

2.2.9 HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Según Andrade (2010), el avance en los sistemas computacionales facilitó el desarrollo de entornos software de modelado y simulación con dinámica de sistemas, en sus inicios estas herramientas facilitaban la labor de la simulación permitiéndole al modelador introducir las ecuaciones diferenciales o sistema de ecuaciones, para poder ser resueltos con sus algoritmos de métodos numéricos y luego entregar los resultados de la simulación. Posteriormente, estas herramientas evolucionaron para brindar soporte, no solo para la simulación, sino además para el modelado y el análisis de sensibilidad entre otras.

2.2.10 POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

“Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones” Levin y Rubín(1996).

“Una población es un conjunto de elementos que presentan una característica común” Cadenas(1974).

MUESTRA

“Se llama muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla” Murria R. Spiegel(1991).

“Una muestra es una colección de algunos elementos de la población, pero no de todos” Levin y Rubin(1996).

“Una muestra debe ser definida en base de la población determinada y las conclusiones que se obtengan de esa muestra sólo podrán referirse a la población en referencia” Cadenas(1974).

CALCULO DE LA MUESTRA

$$n = \frac{N * p * q * Z_{\alpha}^2}{p * q * Z_{\alpha}^2 + (N - 1) * d^2}$$

donde:

N= Total de la población

Z_{α} =1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p= proporción esperada (en este caso 5%=0.05)

q=1-p(en este caso 1-0.05=0.95)

d= precisión (en la investigación se usa un 5%)

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Carrasco(2006), la investigación tecnológica está dirigida a descubrir y conocer qué técnicas son más eficaces o apropiadas para operar, es decir, producir cambios o conservar los progresos alcanzados, así como perfeccionar las actividades o manipular cualquier fragmento de la realidad.

Rincón (2009), la investigación tecnológica comprende con mayor énfasis la transformación, cuyo fin es obtener conocimiento para lograr modificar la realidad en estudio, persiguiendo un conocimiento práctico.

De acuerdo a Córdoba (2007), la investigación tecnológica constituye un conocimiento aplicado y de uso práctico de manera inmediata, concretada en inventos, diseños e innovaciones.

El tipo de investigación para el presente trabajo es investigación tecnológica.

3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según Bernal (2010), la investigación descriptiva es uno de los tipos o procedimientos investigativos más populares, son estudios de carácter eminentemente descriptivo, en tales estudios se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, modelos, prototipos, guías, etcétera. Pero no se dan explicaciones o razones del porqué de las situaciones, los hechos, los fenómenos.

El nivel de investigación para el presente trabajo es descriptiva porque

se está formulando un modelo y se aplicará como metodología de desarrollo la dinámica de sistemas.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Carrasco (2005), el diseño de la investigación es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener información que se requiere en una investigación.

De acuerdo a Carrasco (2005), la investigación no experimental son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en lo que solo se observan fenómenos en su ambiente natural para luego analizarlos.

Carrasco (2005), manifiesta que en un diseño transversal descriptivo se indagan la incidencia de las modalidades, categorías y niveles de una o más variables en una población, son estudios puramente descriptivos.

En el presente trabajo de investigación el diseño es implícito a los subtítulos que se tiene sobre la población, muestra, técnicas, instrumentos y operacionalización de las variables para levantar la información. Siendo una investigación descriptiva, el tipo de diseño aplicado es no experimental y transversal, que se muestra en las técnicas, instrumentos y operacionalización de las variables que tienen relación con los problemas y objetivos planteados.

3.4 POBLACION Y MUESTRA

POBLACIÓN

La población esta compuesto por 195,782 habitantes de la Ciudad de Ayacucho que requieren los servicios de agua potable al año 2010.

MUESTRA

Para el cálculo de la muestra se tomó con un 95% de confianza y 5% de error, resultando 720 habitantes ha ser encuestados para determinar la demanda de servicios de agua potable.

3.5 VARIABLES E INDICADORES

3.5.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES

PRIMERA VARIABLE

MODELO DINÁMICO

Un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones, de esta forma se puede elaborar modelos que buscan representar la estructura del sistema mismo.

INDICADORES DE LA PRIMERA VARIABLE

Diagrama causal

El diagrama causal es un diagrama que recoge los elementos clave del sistema y las relaciones entre ellos.

Diagrama de Forrester

Diagrama que se obtiene a partir de un diagrama de influencias, clasificando sus nodos en variables de nivel, flujo o auxiliares y asociando a esos nodos los iconos correspondientes recibe la denominación de diagrama de Forrester o diagrama de flujos-niveles.

SEGUNDA VARIABLE

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Conjunto de tuberías, instalaciones y accesorios destinados a conducir las aguas requeridas bajo una población determinada para satisfacer

sus necesidades, desde su lugar de existencia natural o fuente hasta el hogar de los usuarios.

INDICADORES DE LA SEGUNDA VARIABLE

Producción de agua potable

Captación y tratamiento de agua cruda, para su posterior distribución como agua potable, en las condiciones técnicas y sanitarias establecidas en las normas respectivas, se puede producir agua potable a partir de cualquier fuente natural de agua como por ejemplo subterránea, lagos y ríos (agua superficial) o agua de mar.

Demanda de agua potable

La demanda de agua potable se define como la cantidad y calidad de agua que pueden ser adquiridos por un consumidor (demanda individual) o por el conjunto de consumidores (demanda total o de mercado), en un momento determinado.

3.5.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

PRIMERA VARIABLE

X: Modelo Dinámico

INDICADORES

X1: Diagrama causal

X2: Diagrama de Forrester

SEGUNDA VARIABLE

Y: Abastecimiento del agua potable

INDICADORES DE LA SEGUNDA VARIABLE

Y1: Producción de agua potable

Y2: Demanda de agua potable

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.6.1 TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Se utilizó el análisis documental, la entrevista y encuesta que tiene como objeto identificar los componentes internos, externos y el funcionamiento del sistema dinámico de agua potable.

3.6.2 INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Para recolectar información fueron necesarios los reactivos que se presentan en la matriz de operacionalización de las variables, presentados en el Anexo A.

Para el análisis documental se revisó diferentes fuentes ya sean estas físicas o magnéticas de las cuales se recopilaron datos para identificar los componentes del sistema de agua potable en la Ciudad de Ayacucho; también se recopilaron datos históricos, actuales; la ficha de análisis documental se muestra en el Anexo B.

Para la técnica de entrevista se utilizó el instrumento guía de entrevista que se encuentra en el Anexo C, que se aplicó al gerente de operaciones de EPSASA.

3.6.3. HERRAMIENTAS PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS E INFORMACIÓN

Para el análisis de las variables se utilizó como método la dinámica de sistemas. Para el tratamiento y procesamiento de la información se utilizó la siguiente herramienta.

| Nombre | Fabricante | Licencia | Simulación |
|---------------|---|--|--|
| Vensim PLE | Ventana System Inc.(Estados Unidos). | Licencia libre y propietaria. | Presenta los resultados de simulación en: gráficos, tablas, tablas de tiempo, tira de causas. |

Tabla Nº 3.1: Herramienta para la Simulación.

3.6.4 TÉCNICAS PARA APLICAR DINÁMICA DE SISTEMAS

| TAREA | RESULTADO | TÉCNICA | RESPONSABLES |
|---|-------------------------|---|--|
| 1. Identificar los componentes del sistema internos, externos | Componentes del sistema | a. Análisis documental b. Entrevista al gerente de operaciones | Analista del sistema dinámico Gerente |
| 2. Identificar el objetivo a alcanzar del sistema | Objetivo definido | Análisis del sistema | Analista del sistema dinámico |
| 3. Graficar el modelo del sistema | Gráfico del sistema | Enfoque sistémico | Analista del sistema dinámico |

Tabla N° 3.2: Actividades para el enfoque de sistemas

| TAREA | RESULTADO | TÉCNICA | RESPONSABLE |
|---|---|--|-------------------------------|
| 1. Identificar variables endógenas | Lista de variables endógenas | Análisis de componentes internas | Analista del sistema dinámico |
| 2. Identificar variables exógenas | Lista de variables exógenas | Análisis de componentes externas | Analista del sistema dinámico |
| 3. Listar variables incluidas | Lista de variables incluidas | Análisis de variables | Analista del sistema dinámico |
| 4. Filtrar variables endógenas | Lista de variables excluidas endógenas | Análisis de componentes internas | Analista del sistema dinámico |
| 5. Filtrar variables exógenas | Lista de variables excluidas exógenas | Análisis de componentes externas | Analista del sistema dinámico |
| 6. Definir conceptualmente las variables incluidas | Variables incluidas definidos conceptualmente | Análisis documental | Analista del sistema dinámico |
| 7. Elaborar el diagrama causal | Diagrama causal | Análisis de causa-efecto | Analista del sistema dinámico |
| 8. Identificar y analizar los lazos de realimentación | Lazos de realimentación identificados | Aplicar la polaridad y causalidad para las variables del diagrama causal | Analista del sistema dinámico |

Tabla N° 3.3. Actividades para construir el diagrama causal.

| ACTIVIDAD | TAREA | PRODUCTO | TÉCNICA | RESPONSABLE |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------|
| Identificar las variables para el diagrama de Forrester (Caracterizar los elementos) | Identificar las variables de flujo | Lista de variables de flujo | Identificando que variables transportan materiales o información | Analista del sistema dinámico |
| | Identificar las variables de nivel | Lista de variables de nivel | Identificando que variables aumentan o disminuyen materiales en el tiempo | Analista del sistema dinámico |
| | Identificar las variables auxiliares | Lista de variables auxiliares | Identificando que variables son necesarios para calcular los resultados de las variables de nivel y flujo | Analista del sistema dinámico |
| Construir el diagrama de Forrester | Relacionar las variables | Variables relacionados | Apoyarse con el diagrama causal | Analista del sistema dinámico |
| | Asignar valores a las variables | variables asignados con sus valores | Determinar y asignar valor a las variables | Analista del sistema dinámico |
| | Escribir las ecuaciones | Ecuaciones ingresados | Utilizar fórmulas aritméticas, hacer uso de las funciones que el software nos facilita, o bien utilizar las tablas cuando sea difícil establecer una ecuación. | Analista del sistema dinámico |
| | Crear una primera versión del modelo | Diagrama de Forrester | Utilizar la tecnología de información Vensim para crear el diagrama de Forrester | Analista del sistema dinámico |

Tabla N° 3.4: Actividades para construir el diagrama de Forrester.

| TAREA | PRODUCTO | TÉCNICA | RESPONSABLE |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------|
| Comprobar la sintaxis del modelo | Sintaxis del modelo comprobado | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |
| Comprobar la coherencia de las unidades de las variables | Coherencias de las unidades de las variables comprobadas | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |
| Farmalitzar el modelo | Ecuaciones del modelo | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |
| Generar tablas del modelo para comparar con datos históricos | Tablas de resultados del modelo(2005-2010) | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |

Tabla N° 3.5: Validación de la estructura del modelo.

| TAREA | PRODUCTO | TÉCNICA | RESPONSABLE |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------|
| Generación de gráficas y tablas del modelo | Gráficos y tablas del modelo(2010-2020) | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |
| Proyecciones del modelo | Proyecciones a partir de la Modelación Dinámica(2010-2020) | Tecnología de información Vensim | Analista del sistema dinámico |

Tabla N° 3.6: Simulación del modelo.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ENFOQUE SISTEMICO

4.1.1 COMPONENTES DEL SISTEMA

COMPONENTES INTERNOS DEL SISTEMA

Basado en el contexto interno del sistema, fundamentalmente compuesto por todos los subsistemas internos del sistema de agua potable de la ciudad de Ayacucho.

- a. Captación de agua cruda
- b. Planta de tratamiento de agua potable
- c. Distribución de agua potable
- d. Población Ciudad de Ayacucho
- e. Consumo de agua potable

COMPONENTES EXTERNOS DEL SISTEMA

- a. Clima

4.1.2. OBJETIVO DEL SISTEMA

Predecir el abastecimiento del agua potable para la Ciudad de Ayacucho al 2020.

4.1.3. GRÁFICO DEL MODELO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

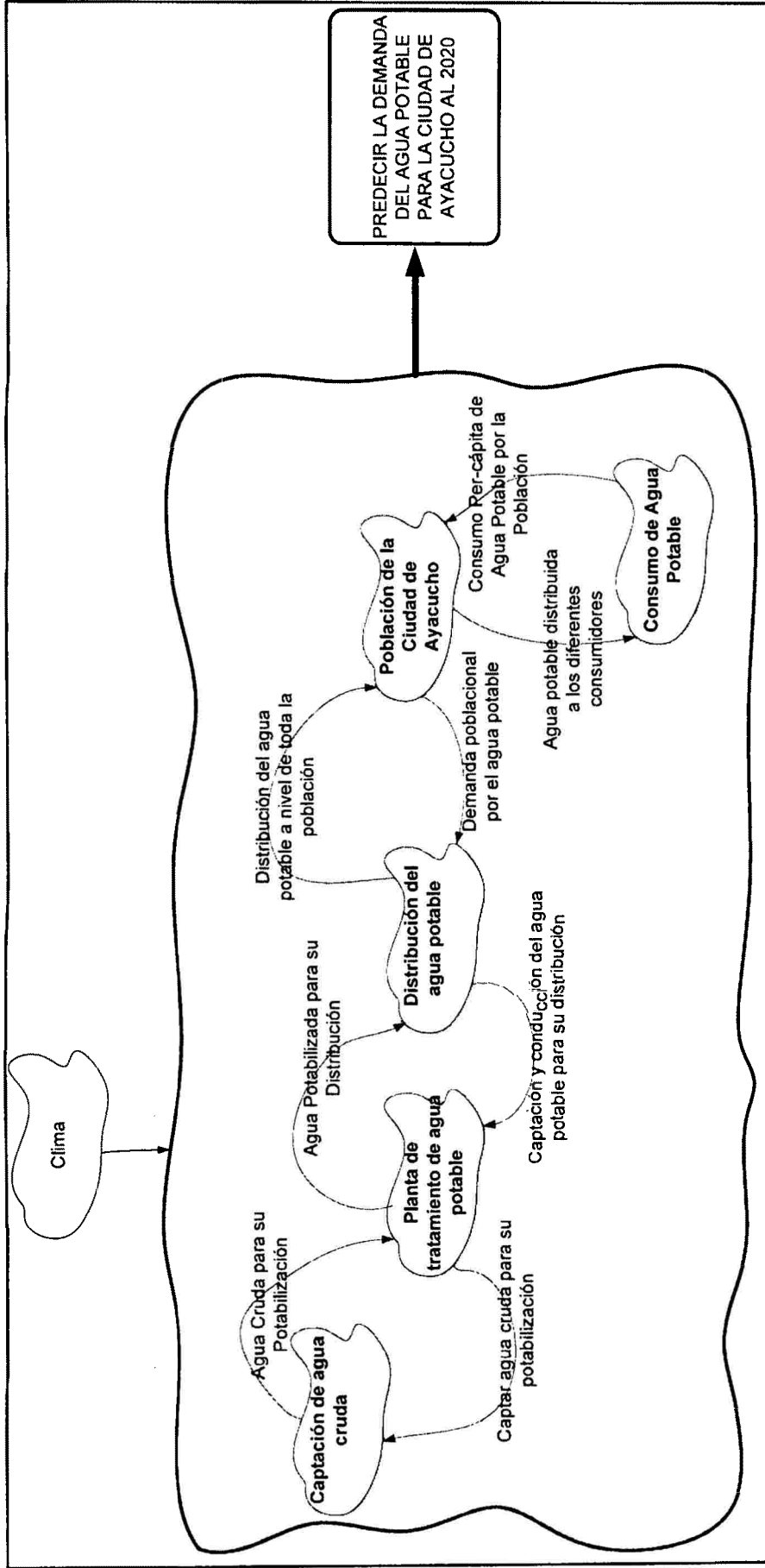


Figura N° 4.1: Modelo del sistema de agua potable

4.2 DIAGRAMA CAUSAL

4.2.1 LISTA DE VARIABLES ENDÓGENAS

COMPONENTE: CAPTACIÓN AGUA CRUDA

- v1: Caudal captación Chiara(m³/mes)
- v2: Caudal captación Cachi(m³/mes)
- v3: Volumen captado agua cruda (m³)
- v4: Aportes de Agua(m³/mes)
- v5: Caudal líneas de conducción(m³/día)
- v6: Suministro Agua1 (m³/mes)
- v7: Suministro Agua2(m³/mes)

COMPONENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

- v1: Producción agua potable planta N°1 (m³/mes)
- v2: Producción agua potable planta N°2(m³/mes)
- v3: Planta de tratamiento N°1 (m³/mes)
- v4: Planta de tratamiento N°2(m³/mes)
- v5: Producción unitaria(lt/Hab/día)
- v6: Costo operativo por m³ producido(Soles)
- v7: NivelMáximo1 (1/mes)
- v8: NivelMáximo2(1/mes)
- v9: EntradaPT1 (m³/mes)
- v10: EntradaPT2(m³/mes)
- v11: NivelMáximoR1 (1/mes)
- v12: NivelMáximoR2(1/mes)
- v13: Productividad1 (m³/mes)
- v14: Productividad2(m³/mes)

COMPONENTE: CONSUMO DE AGUA POTABLE

- v1:Consumo promedio por uso industrial(m³)
- v2:Consumo promedio por uso comercial(m³)
- v3:Consumo promedio por uso doméstico(m³)
- v4: Consumo promedio por uso estatal (m³)
- v5: Consumo promedio por uso social (m³)
- v6:Consumo Per-capita AguaPotable(lt/Hab/día)
- v7: Demanda poblacional de agua potable(m³/día)

COMPONENTE: DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- v1: Volumen agua potable reservorio de cabecera(m³)
- v2: Fugas de agua en el sistema (m³/día)

COMPONENTE: POBLACION CIUDAD DE AYACUCHO

- v1: Densidad poblacional(hab/km²)
- v2: Número de habitantes por vivienda(hab/vivienda)
- v3: Tasa de natalidad(Porcentaje)
- v4: Tasa de mortalidad(Porcentaje)
- v5: Población Ciudad de Ayacucho(Persona)
- v6: Nacimientos Ayacucho(personas/año)
- v7: Defunciones Ayacucho(personas/año)

4.2.2 LISTA DE VARIABLES EXOGENAS

COMPONENTE: CLIMA

- v1: Cambio climático(adimensional)
- v2: Temperatura del aire(°C)
- v3: Precipitación fluvial(Mm)
- v4: Humedad relativa(%)

4.2.3 LISTA DE VARIABLES INCLUIDAS

- a. Caudal captación fuente Chiara(m³/mes)
- b. Caudal captación fuente Cachi(m³/mes)
- c. Volumen captado de agua cruda (m³)
- d. Aporte de Agua(m³/mes)
- e. Suministro Agua1 (m³/mes)
- f. Suministro Agua2(m³/mes)
- g. Planta Tratamiento N° 1 (m³)
- h. Planta tratamiento N° 2(m³)
- i. Producción agua potable Planta1 (m³)
- j. Producción agua potable planta2(m³)
- k. Consumo Per-capita AguaPotable(lt/Hab/día)
- l. Demanda poblacional de agua potable(m³/día)
- m. Volumen agua potable reservorio de cabecera(m³)
- n. Tasa de natalidad(Porcentaje)
- o. Tasa de mortalidad(Porcentaje)

- p. Población Ayacucho(Persona)
- q. Defunciones Ayacucho(personas/año)
- r. Nacimientos Ayacucho(personas/año)
- s. NivelMáximo1 (1/mes)
- t. NivelMáximo2(1/mes)
- u. EntradaPT1 (m³/mes)
- v. EntradaPT2(m³/mes)
- w. NivelMáximoR1 (1/mes)
- x. NivelMáximoR2(1/mes)
- y. Productividad1 (m³/mes)
- z. Productividad2(m³/mes)

4.2.4 LISTA DE VARIABLES EXCLUIDAS ENDOGENAS

COMPONENTE: CAPTACIÓN AGUA CRUDA

v1: Caudal líneas de conducción(m³)

COMPONENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

v1: Producción unitaria(lt/Hab/día)

v2: Costo operativo por m³ producido(Soles)

COMPONENTE: CONSUMO DE AGUA POTABLE

v1:Consumo promedio por uso industrial(m³)

v2:Consumo promedio por uso comercial(m³)

v3:Consumo promedio por uso doméstico(m³)

v4: Consumo promedio por uso estatal (m³)

v5: Consumo promedio por uso social (m³)

COMPONENTE: DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

v1: Fugas de agua en el sistema(m³/día)

COMPONENTE: POBLACION CIUDAD DE AYACUCHO

v1: Densidad poblacional(hab/km²)

v2: Número de habitantes por vivienda(hab./vivienda)

4.2.5 LISTA DE VARIABLES EXCLUIDAS EXOGENAS

COMPONENTE: CLIMA

v1:Temperatura del aire(°C)

v2: Precipitación fluvial(Mm)

v3: Humedad relativa(%)

4.2.6 VARIABLES INCLUIDAS DEFINIDOS CONCEPTUALMENTE

Caudal Captación Chiara.-Es el caudal promedio aportado por la fuente de Chiara, la cual llega al embalse de Quicapata para luego hacer la potabilización.

Caudal Captación Cachi.-Es el caudal promedio aportado por la fuente de captación del exproyecto especial Río Cachi la cual llega al embalse de Quicapata para luego hacer la potabilización.

Producción Agua Potable Planta 1.-Es el volumen producido de agua potable que sale de la Planta N° 1 para alimentar de agua potable al reservorio de cabecera.

Producción Agua Potable Planta 2.-Es el volumen producido de agua potable que sale de la Planta N° 2 para alimentar de agua potable al reservorio de cabecera.

Suministro Agua 1.-Es el volumen de agua cruda que suministra a la planta de tratamiento N°1 para la potabilización de agua cruda a agua potable.

Suministro Agua 2.-Es el volumen de agua cruda que suministra a la planta de tratamiento N°2 para la potabilización de agua cruda a agua potable.

Volumen agua potable reservorio de cabecera.-Es volumen almacenado de agua potable producido para su distribución a los diferentes reservorios de la Ciudad y que de cada reservorio se distribuye a ciertos sectores de la Ciudad.

Consumo Per-capita Agua Potable.-Es el consumo de litros de agua potable por día por persona.

Población Ciudad Ayacucho.-Es el tamaño de la población que nos interesa en este caso correspondiente a los 04 distritos que conforman la Ciudad de Ayacucho.

Tasa de natalidad.-es el porcentaje o medida de nacimientos al año, tomando en cuenta al tamaño de la población.

Tasa de mortalidad.-es el porcentaje o medida de defunciones al año, tomando en cuenta al tamaño de la población.

Nacimientos Ayacucho.-es la cantidad de nacimientos que se tiene en la Ciudad de Ayacucho y que incrementan el número a la población.

Defunciones Ayacucho.-es la cantidad de defunciones que se tiene en la Ciudad de Ayacucho y que reducen el número a la población.

Demanda poblacional de agua potable.- es el volumen que los distintos grupos de consumidores están dispuestos a consumir y pagar.

Cambio climático.-es el cambio en el clima debido a la contaminación ambiental y otros factores la cual afecta en la disminución del caudal en las fuentes de abastecimiento.

EntradaPT1.-Es el switch que regula el flujo del agua que entra a la planta de tratamiento N°1.

EntradaPT2.-Es el switch que regula el flujo del agua que entra a la planta de tratamiento N°2.

NivelMáximo1.-Es la cantidad de agua que la planta N°1 puede almacenar para evitar reboses.

NivelMáximo2.-Es la cantidad de agua que la planta N°2 puede almacenar para evitar reboses.

Productividad1.-Regula la tasa de producción de la fuente de suministro de agua potable de la planta de tratamiento N°1 al reservorio de cabera.

Productividad2.-Regula la tasa de producción de la fuente de suministro de agua potable de la planta de tratamiento N°2 al reservorio de cabera.

NivelMáximoR1.- Es la cantidad de agua que el reservorio de cabecera puede almacenar para evitar reboses, suministrado por la Planta de Tratamiento N°1.

NivelMáximoR2.- Es la cantidad de agua que el reservorio de cabecera puede almacenar para evitar reboses, suministrado por la Planta de Tratamiento N°2.

Aportes de agua.-Es el caudal total captado de las fuentes de Cachi y Chiara.

4.2.7 GRÁFICO DEL DIAGRAMA CAUSAL

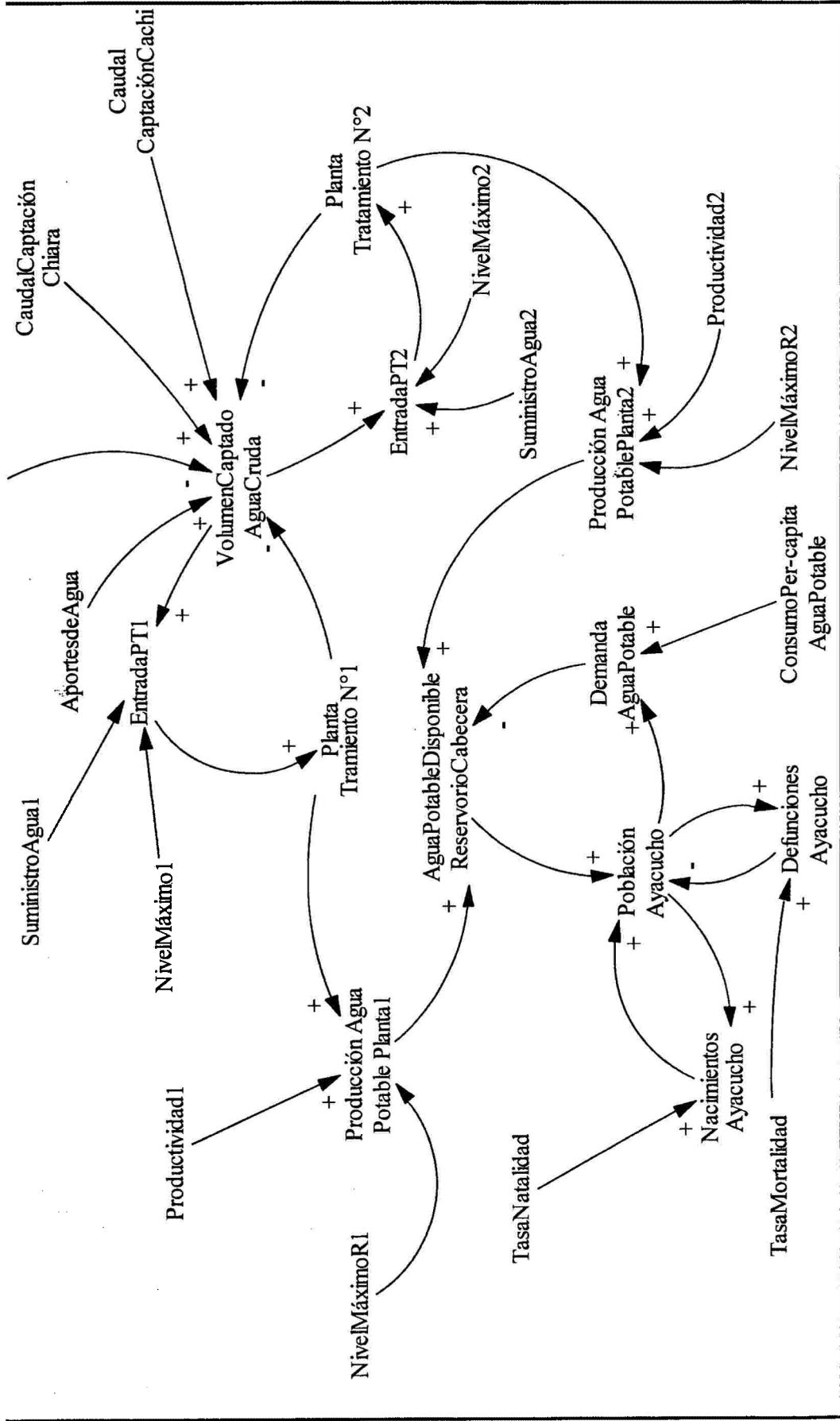


Figura N° 4.2: Diagrama causal para la predicción del abastecimiento del agua potable Ciudad de Ayacucho

4.2.8 LAZOS DE REALIMENTACIÓN IDENTIFICADOS

LAZOS DE REALIMENTACIÓN L1 Y L2

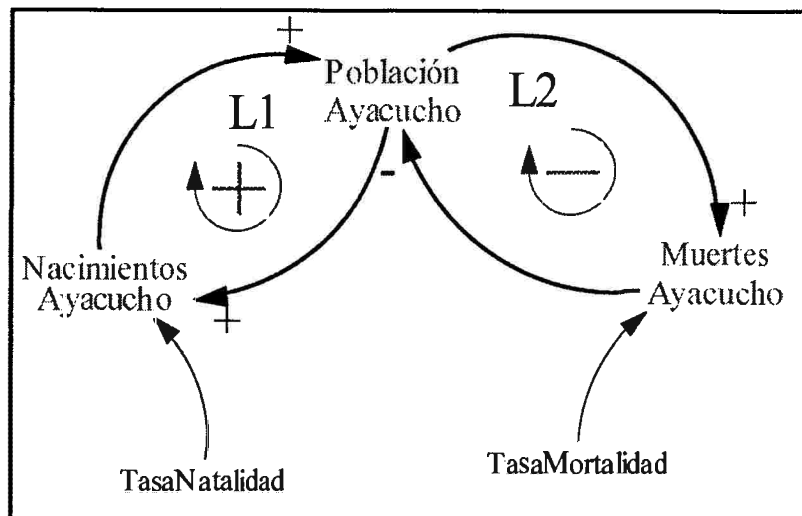


Figura N° 4.3: Lazo de realimentación L1 y L2

En la figura observamos dos bucles de realimentación en la que comparten una variable (Población Ayacucho) y relaciones de causalidad. En el bucle de realimentación positiva (L1) la variable Nacimientos influye en que aumente la variable Población Ayacucho y que la variación de estas variables se propaga a lo largo del bucle reforzando dicha variable inicial y generando un comportamiento de crecimiento o el efecto de bola de nieve. En el bucle de realimentación negativa (L2) se observa que una variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que se genera un efecto que contrarresta la variación inicial de esta manera estabilizando al bucle.

De acuerdo con el bucle de realimentación positiva (L1) en el que el proceso dinámico se traslada por una cadena de causas y efectos a través de un conjunto de variables que acaba volviendo a la causa original de esta manera reforzando el estado inicial de la variable, tiende a desestabilizar el sistema de forma exponencial y que encontramos un comportamiento que hace que crezca el sistema de forma explosiva formando un círculo vicioso.

LAZO DE REALIMENTACIÓN L3

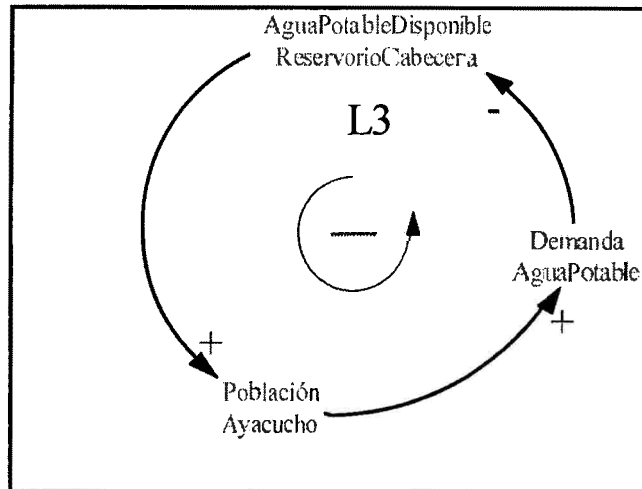


Figura N° 4.4: Lazo de realimentación L3

Un aumento en la población hace que se incremente la demanda por agua potable, este aumento en la demanda a su vez hace que el agua potable disponible en el reservorio de cabecera disminuya, a mayor agua potable disponible en el reservorio de cabecera hace que aumente la población debido a la calidad de vida que tendrá la población.

LAZOS DE REALIMENTACIÓN L4 Y L5

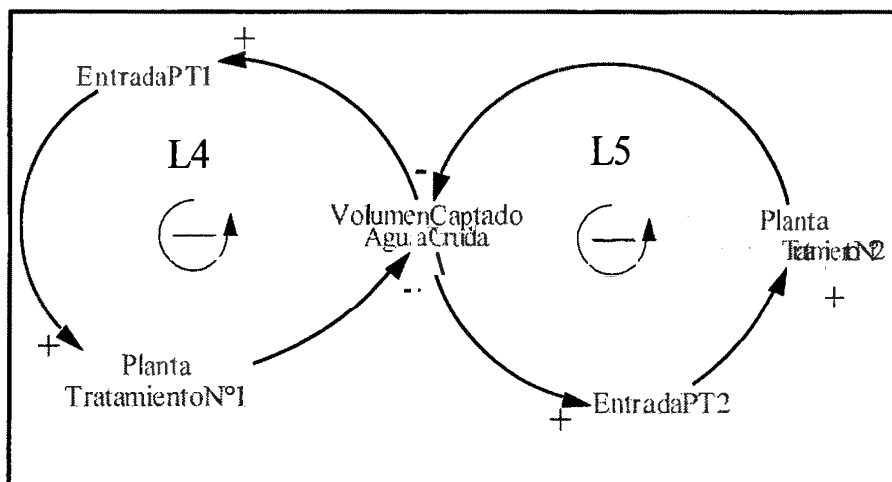


Figura N° 4.5: Lazos de realimentación L4 y L5

En la figura observamos dos bucles de realimentación en la que comparten una variable(VolumenCaptadoAguaCruda) y relaciones de causalidad. En el bucle de realimentación L4 a mayor volumen captado de agua cruda se tendrá mayor flujo de agua en la entrada para abastecer la planta de tratamiento N°1 y que a mayor volumen de agua almacenado en la planta de tratamiento N°1 hará que disminuya el volumen captado, este bucle negativo estabilizará el nivel de flujo de agua en los reservorios tanto de captación y tratamiento. El análisis en el bucle de realimentación L5 es lo mismo que en el análisis del bucle de realimentación L4.

4.3 DIAGRAMA DE FORRESTER

4.3.1 LISTA DE VARIABLES DE FLUJO

VARIABLES DE FLUJO DE ENTRADA

1. AportesAgua
2. NacimientosAyacucho
3. EntradaPT1
4. EntradaPT2

VARIABLES DE FLUJO DE SALIDA

1. Defunciones Ayacucho
2. DemandaPoblacionalAguaPotable
3. ProducciónAguaPotablePlanta1
4. ProducciónAguaPotablePlanta2

4.3.2 LISTA DE VARIABLES DE NIVEL

1. VolumenAguaPotableReservorioCabecera
2. VolumenCaptadoAguaCruda
3. PoblaciónAyacucho
4. PlantaTratamientoN°1
5. PlantaTratamientoN°2

4.3.3 LISTA DE VARIABLES AUXILIARES

1. Tasa de natalidad
2. Tasa de Mortalidad
3. CaudalCaptaciónChiara

4. CaudalCaptaciónCachi
5. ConsumoPer-cápitaAguaPotable
6. SuministroAgua1
7. SuministroAgua2
8. NivelMáximo1
9. NivelMáximo2
10. Productividad1
11. Productividad2
12. NivelMáximorR1
13. NivelMáximorR2

4.3.4 VARIABLES RELACIONADOS

La relación entre las variables se realizó en el diagrama causal de la Figura N° 4.2.

4.3.5 VARIABLES ASIGNADOS CON SUS VALORES

La asignación de valores se muestra en las ecuaciones del modelo en la sección 4.4.3.

4.3.6 ECUACIONES INGRESADOS

La descripción de las ecuaciones se muestra en las ecuaciones del modelo en la sección 4.4.3.

4.3.7 GRÁFICO DEL DIAGRAMA DE FORRESTER

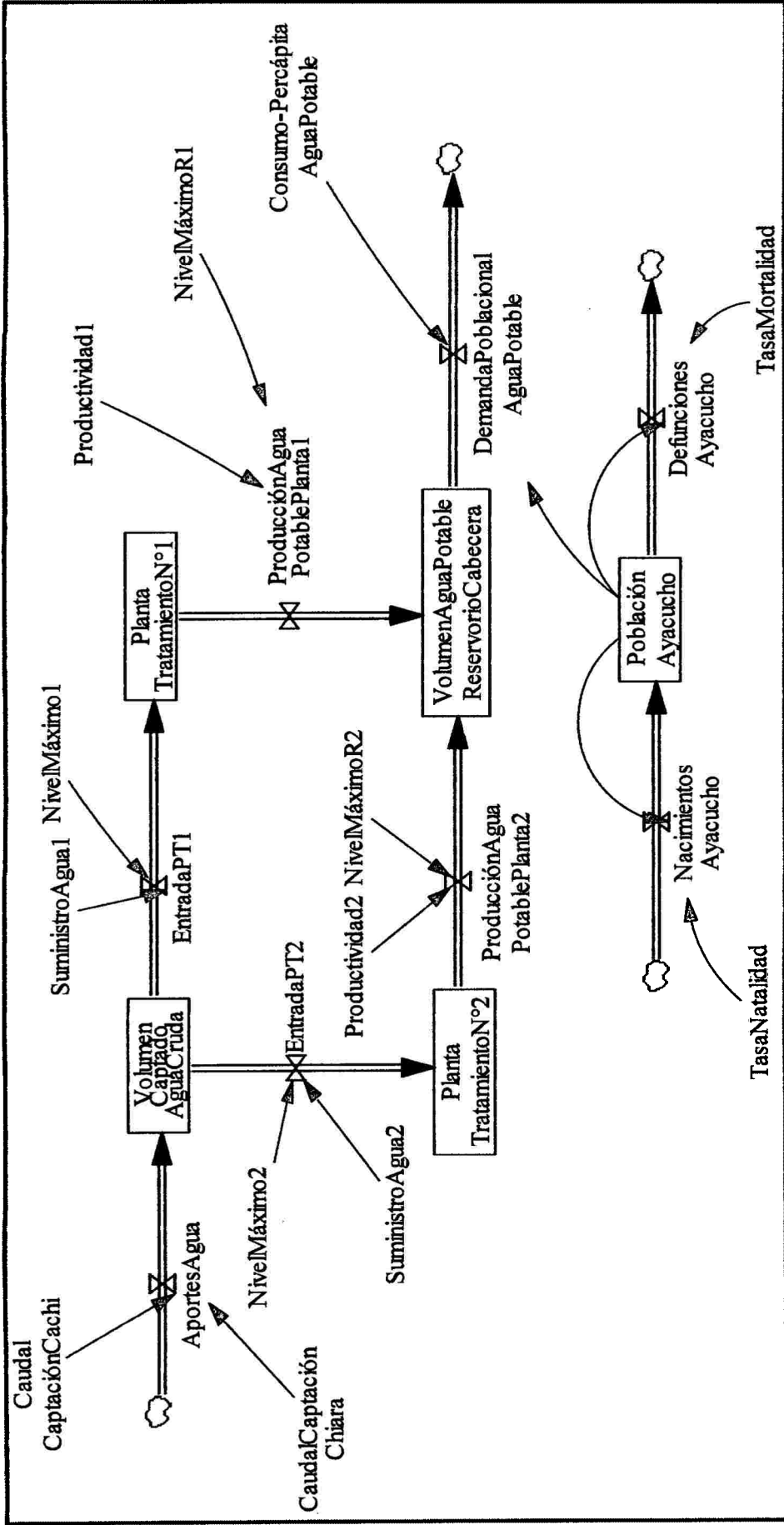
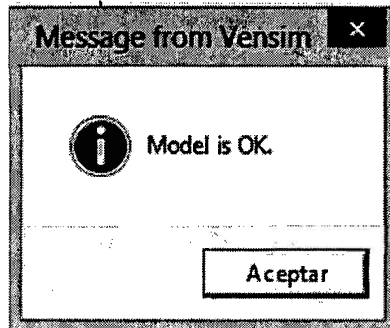


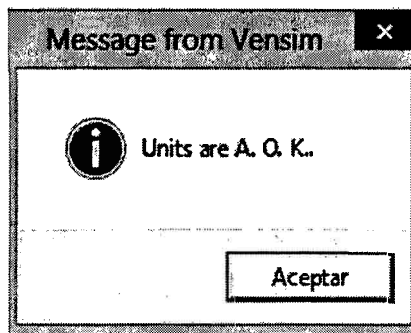
Figura N° 4.6: Diagrama de Forrester

4.4 VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

4.4.1 SINTAXIS DEL MODELO COMPROBADO



4.4.2 COHERENCIA DE LAS UNIDADES DE LAS VARIABLES COMPROBADAS



4.4.3 ECUACIONES DEL MODELO

- (01) $\text{AportesAgua} = \text{CaudalCaptaciónChiara} + \text{CaudalCaptaciónCachi}$
Units: m3/Month
- (02) $\text{CaudalCaptaciónCachi} = 1.0368e+006$
Units: m3/Month
- (03) $\text{CaudalCaptaciónChiara} = 259200$
Units: m3/Month
- (04) "Consumo-PercápitaAguaPotable" = 0.167
Units: m3/(Month*personas) [0,200,0.5]
- (05) $\text{DefuncionesAyacucho} = \text{PoblaciónAyacucho} * \text{TasaMortalidad}$
Units: personas/Year
- (06) $\text{DemandaPoblacionalAguaPotable} = \text{PoblaciónAyacucho} * \text{"Consumo-PercápitaAguaPotable"}$
Units: m3/Month
- (07) $\text{EntradaPT1} = \text{NivelMáximo1} * \text{SuministroAgua1}$

- Units: m³/Month
- (08) $\text{EntradaPT2} = \text{NivelMáximo2} * \text{SuministroAgua2}$
Units: m³/Month
- (09) $\text{NacimientosAyacucho} = \text{TasaNatalidad} * \text{PoblaciónAyacucho}$
Units: personas/Year
- (10) $\text{NivelMáximo1} = 1$
Units: 1/Month
- (11) $\text{NivelMáximo2} = 1$
Units: 1/Month
- (12) $\text{NivelMáximoR1} = 1$
Units: 1/Month
- (13) $\text{NivelMáximoR2} = 1$
Units: 1/Month
- (14) $\text{PlantaTratamientoN}^{\circ}1 = \text{EntradaPT1} - \text{ProducciónAguaPotablePlanta1}$
Units: m³/Month
- (15) $\text{PlantaTratamientoN}^{\circ}2 = \text{EntradaPT2} - \text{ProducciónAguaPotablePlanta2}$
Units: m³/Month
- (16) $\text{PoblaciónAyacucho} = \text{INTEG}(\text{NacimientosAyacucho} - \text{DefuncionesAyacucho}, 180000)$
Units: personas
- (17) $\text{ProducciónAguaPotablePlanta1} = \text{NivelMáximoR1} * \text{Productividad1}$
Units: m³/Month
- (18) $\text{ProducciónAguaPotablePlanta2} = \text{NivelMáximoR2} * \text{Productividad2}$
Units: m³/Month
- (19) $\text{Productividad1} = 560956$
Units: m³
- (20) $\text{Productividad2} = 603617$
Units: m³
- (21) $\text{SuministroAgua1} = 538816$
Units: m³
- (22) $\text{SuministroAgua2} = 634130$
Units: m³

(23) TasaMortalidad=0.005
Units: 1/Year

(24) TasaNatalidad=0.02
Units: 1/Year

(25)VolumenAguaPotableReservorioCabecera=
(ProducciónAguaPotablePlanta1+ProducciónAguaPotablePlanta2)-
(DemandaPoblacionalAguaPotable)
Units: m3/Month

(26)VolumenCaptadoAguaCruda=AportesAgua-
(EntradaPT1+EntradaPT2)
Units: m3/Month

4.4.4 TABLAS DE VALIDACIÓN DEL MODELO(2005-2010)

| Demografía Ayacucho | | | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Time (Year) | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| PoblaciónAyacucho | 180,000 | 182,700 | 185,440 | 188,222 | 191,045 | 193,911 |
| NacimientosAyacucho | 3,600 | 3,654 | 3,708 | 3,764 | 3,820 | 3,878 |
| DefuncionesAyacucho | 900 | 913.5 | 927.20 | 941.11 | 955.22 | 969.55 |

Tabla Nº 4.1: Simulación de la demografía poblacional.

| Año | POBLACIÓN(Habitantes) | | | NACIMIENTOS(persona/año) | | | DEFUNCIONES(persona/año) | | |
|------|-----------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | Histórico | Simulado | Error(%) | Histórico | Simulado | Error(%) | Histórico | Simulado | Error(%) |
| 2005 | 180000 | 180000 | | 3600 | 3600 | | 900 | 900 | |
| 2006 | 183122 | 182700 | 0.23 | 3842 | 3654 | 4.89 | 938 | 913.5 | 2.61 |
| 2007 | 186325 | 185440 | 0.47 | 3698 | 3708 | 0.27 | 917 | 927.20 | 1.11 |
| 2008 | 189945 | 188222 | 0.90 | 3702 | 3764 | 1.67 | 949 | 941.11 | 0.83 |
| 2009 | 191800 | 191045 | 0.39 | 3922 | 3820 | 2.60 | 958 | 955.22 | 0.29 |
| 2010 | 195782 | 193911 | 0.96 | 4001 | 3878 | 3.07 | 949 | 969.55 | 2.17 |

Tabla Nº 4.2: Comparación de datos históricos con datos simulados para la demografía poblacional.

| Demanda Poblacional | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Time (Year) | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| DemandaPoblacionalAguaPotable | 30,060 | 30,510 | 30,968 | 31,433 | 31,904 | 32,383 |

Tabla Nº 4.3: Resultado de la simulación demanda por agua potable (m3/mes).

| DEMANDA POBLACIONAL POR AGUA POTABLE(m3/mes) | | | |
|--|-----------|----------|----------|
| Año | Histórico | Simulado | Error(%) |
| 2005 | 28998 | 30060 | 3.66 |
| 2006 | 30996 | 30510 | 1.57 |
| 2007 | 32017 | 30968 | 3.28 |
| 2008 | 30369 | 31433 | 3.50 |
| 2009 | 31567 | 31904 | 1.07 |
| 2010 | 31401 | 32383 | 3.13 |

Tabla N° 4.4: Comparación de datos históricos con datos simulados para la demanda poblacional por agua potable.

El porcentaje (%) de error se calculó con la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{|\text{Dato Simulado} - \text{Dato Histórico}|}{\text{Dato Histórico}} * 100$$

4.5 SIMULACIÓN DEL MODELO

4.5.1 GRÁFICOS Y TABLAS DEL MODELO(2010-2020)

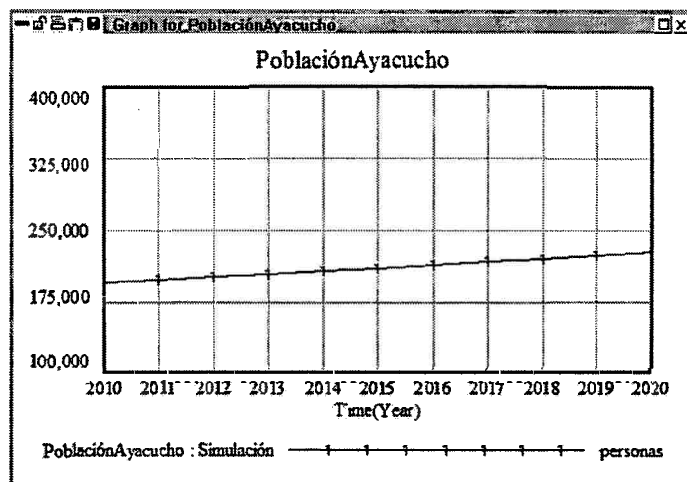


Figura N° 4.7: Proyección de la variable población.

| Time (Year) | "Población Ayacucho" | PoblaciónAyacucho |
|-------------|----------------------|-------------------|
| 2010 | Ayacucho | 195782 |
| 2011 | Rms: | 198719 |
| 2012 | Simulación | 201700 |
| 2013 | | 204725 |
| 2014 | | 207796 |
| 2015 | | 210913 |
| 2016 | | 214077 |
| 2017 | | 217288 |
| 2018 | | 220547 |
| 2019 | | 223855 |
| 2020 | | 227721 |

Tabla N° 4.5: Proyección de la variable población.

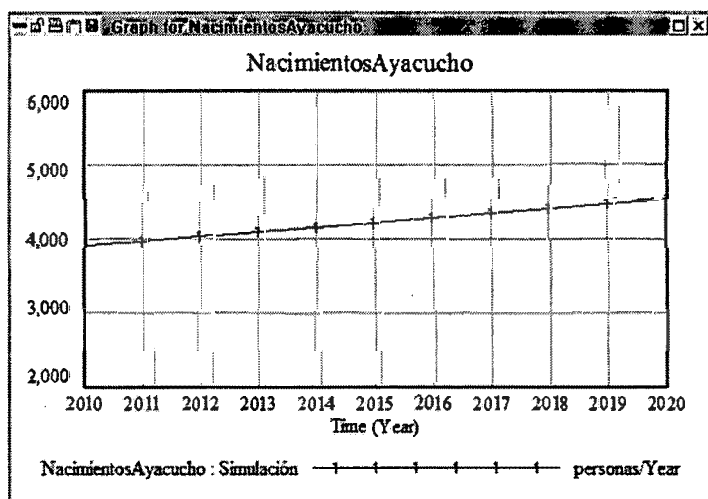


Figura N° 4.8: Proyección de la variable nacimientos.

| Time (Year) | "Nacimientos Ayacucho" | NacimientosAyacucho |
|-------------|------------------------|---------------------|
| 2010 | Ayacucho" | 3915.64 |
| 2011 | Runs: | 3974.37 |
| 2012 | Simulación | 4033.99 |
| 2013 | | 4094.5 |
| 2014 | | 4155.92 |
| 2015 | | 4218.26 |
| 2016 | | 4281.53 |
| 2017 | | 4345.75 |
| 2018 | | 4410.94 |
| 2019 | | 4477.1 |
| 2020 | | 4544.26 |

Tabla N° 4.6: Proyección de la variable nacimientos.

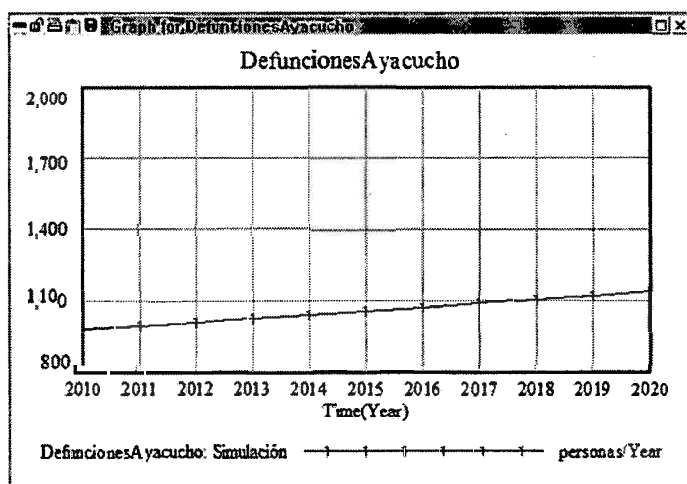


Figura N° 4.9: Proyección de la variable defunciones.

| Time (Year) | "Defunciones Ayacucho" | DefuncionesAyacucho |
|-------------|------------------------|---------------------|
| 2010 | | 978.91 |
| 2011 | Runs: | 993.594 |
| 2012 | Simulación | 1008.5 |
| 2013 | | 1023.63 |
| 2014 | | 1038.98 |
| 2015 | | 1054.56 |
| 2016 | | 1070.38 |
| 2017 | | 1086.44 |
| 2018 | | 1102.73 |
| 2019 | | 1119.28 |
| 2020 | | 1136.06 |

Tabla N° 4.7: Proyección de la variable defunciones.

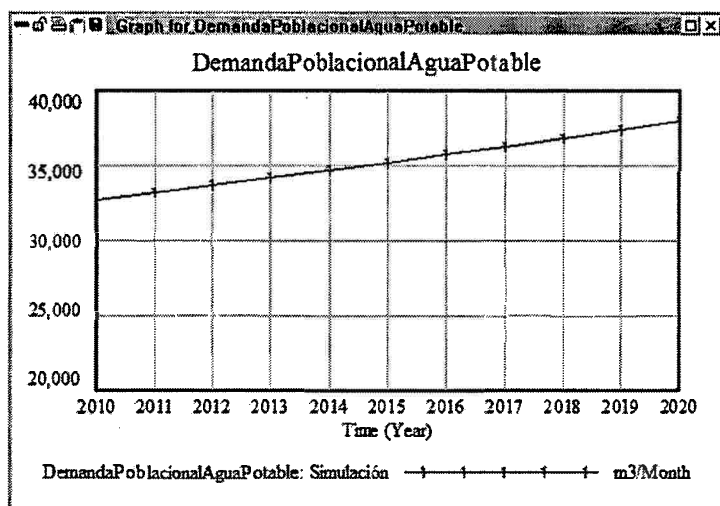


Figura N° 4.10: Proyección de la variable demanda por agua potable.

| Time (Year) | "Demanda Poblacional Agua Potable" | DemandaPoblacional/ |
|-------------|------------------------------------|---------------------|
| 2010 | | 32695.6 |
| 2011 | Runs: | 33186 |
| 2012 | Simulación | 33683.8 |
| 2013 | | 34189.1 |
| 2014 | | 34701.9 |
| 2015 | | 35222.4 |
| 2016 | | 35750.8 |
| 2017 | | 36287 |
| 2018 | | 36831.3 |
| 2019 | | 37383.8 |
| 2020 | | 37944.6 |

Tabla N° 4.8: Proyección de la variable demanda por agua potable.

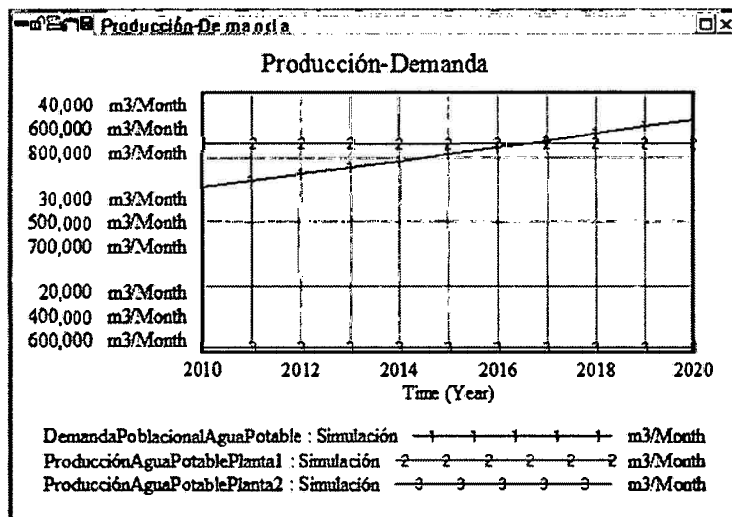


Figura N° 4.11: Vista Múltiple tanto de la producción en las dos plantas y demanda por agua potable

4.5.2 PROYECCIONES A PARTIR DE LA MODELACIÓN DINÁMICA(2010-2020)

| AÑO | Población(Habitantes) | Demanda(m3/mes) |
|------|-----------------------|-----------------|
| 2010 | 195782 | 32695.6 |
| 2011 | 198719 | 33186 |
| 2012 | 201700 | 33683.8 |
| 2013 | 204725 | 34189.1 |
| 2014 | 207796 | 34701.9 |
| 2015 | 210913 | 35222.4 |
| 2016 | 214077 | 35750.8 |
| 2017 | 217288 | 36287 |
| 2018 | 220547 | 36831.3 |
| 2019 | 223855 | 37383.8 |
| 2020 | 227213 | 37944.6 |

Tabla N° 4.9: Proyección de la población y demanda de agua potable al 2020.

4.6 ESCENARIOS PROPUESTOS Y EVALUADOS EN LA INVESTIGACIÓN

| ESCENARIO | CLASE | DESCRIPCIÓN |
|-----------|--------------------------------|---|
| 1 | Cambio climático | Captación se reduce en 20% |
| 2 | Reducción de tasa de natalidad | La tasa de natalidad se reduce de 2% a 1.7% |

4.6.1 ESCENARIO 1: Captación de agua se reduce en 20%

| Time (Year) | "Demanda | DemandaPoblacio |
|-------------|--------------|-----------------|
| 2010 | Poblacional | 32695.6 |
| 2011 | AguaPotable" | 33513 |
| 2012 | Runs: | 34350.8 |
| 2013 | Simulación | 35209.6 |
| 2014 | | 36089.8 |
| 2015 | | 36992.1 |
| 2016 | | 37916.9 |
| 2017 | | 38864.8 |
| 2018 | | 39836.4 |
| 2019 | | 40832.3 |
| 2020 | | 41853.1 |

Tabla Nº 4.10: Pronóstico demanda por agua potable.

4.6.2 ESCENARIO 2: La tasa de natalidad se reduce de 2 a 1.7%

| Time(Year) | "Demanda | DemandaPob |
|------------|--------------|------------|
| 2010 | Poblacional | 32695.6 |
| 2011 | AguaPotable" | 33087.9 |
| 2012 | Runs: | 33485 |
| 2013 | Simulación | 33886.8 |
| 2014 | | 34293.5 |
| 2015 | | 34705 |
| 2016 | | 35121.4 |
| 2017 | | 35542.9 |
| 2018 | | 35969.4 |
| 2019 | | 36401 |
| 2020 | | 36837.9 |

Tabla Nº 4.11: Pronóstico por demanda de agua potable

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- a. Se llegó a construir satisfactoriamente el diagrama causal del modelo dinámico para la predicción del abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Ayacucho al 2020, la cual se observa en el capítulo IV en el resultado de investigación ítem 4.2.7, según el diagrama de la figura N° 4.2, así mismo los lazos de realimentación mostrados en la figura N° 4.3, figura N° 4.4, figura N° 4.5.
- b. A partir del diagrama causal se construyó el diagrama de Forrester del modelo dinámico para la predecir el abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Ayacucho al 2020, la cual se observa en el capítulo IV en el resultado de investigación ítem 4.3.7 figura N° 4.6, las ecuaciones del modelo en el ítem 4.4.3, las tablas de validación del modelo en el ítem 4.4.4.
- c. Se simuló satisfactoriamente las variables producción y demanda del modelo dinámico de agua potable las cuales se observan en el capítulo IV de resultados ítem 4.5.1 tabla N° 4.8, figura N° 4.11; también se simuló aplicando diversos escenarios como son el cambio climático, reducción de tasa natalidad ítem 4.6.1, ítem 4.6.2, tabla N° 4.10, tabla N° 4.11.

5.2 RECOMENDACIONES

- a. Se sugiere realizar un modelo de este tipo considerando como variable la agricultura ya que cada año hay un incremento en las áreas de cultivo y en los productos agrícolas.

- b. Se sugiere realizar un modelo de este tipo considerando como variables que están relacionados con el cambio climático como son: temperatura, precipitación fluvial, humedad relativa los cuales son registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

- c. El presente trabajo puede servir como punto de partida para futuras investigaciones sobre los recursos hídricos en la Ciudad de Ayacucho, de base e informaciones para posteriores análisis, siendo este trabajo pionero en el abordaje de esta problemática desde la óptica de la dinámica de sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Orellana, J. (2006). Sostenibilidad de los recursos hídricos. Tesis presentado, Universidad Federal de Vicosa, Minas Garais, Brasil.
2. Rosnay, B. (1988). Dinámica de Sistemas(2ª ed). España, Mc Graw Hill.
3. Peña, M. (2008). Modelo del Sistema de Distribución de Aguas Blancas de la Ciudad de Mérida. Tesis presentado, Universidad de Mérida, Venezuela.
4. Forrester, J.(1961). Industrial Dynamics. Productivity Press, Cambridge MA.
5. García, J.(2006). Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas, Barcelona, España.
6. Aracil, J.(1986). Introducción a la Dinámica de Sistemas. Madrid, España.
7. Municipalidad Provincial de Huamanga (2011).Estudio de Pre inversión a nivel de Perfil Simplificado. Ayacucho, Perú.
8. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento-SUNASS(2007). Determinación de la Fórmula Tarifaria, Estructura Tarifaria y Metas de Gestión Aplicable a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento EPSASA. Lima, Perú.
9. Carrasco, A. (2005). Metodología de la Investigación Científica (1ª ed). Lima, Perú, Mc Graw Hill.
- 10.Senge, P. (1995). La Quinta Disciplina. Barcelona, España.
- 11.Caselles, A.(2009). Modelos de Simulación por Ordenador. Valencia, España.

12. Fernández, N.(2007). Modelación y Simulación Dinámica para la Gestión de Caudales en la Cuenca Alta del Río Pamplonita-Un Balance Hídrico de Consumo. Pamplona, España.
13. Bunge, M., Martínez, L., y Ruíz, B.(2012). Escenarios de la dinámica hídrica de la región de aporte del sistema Cutzamala, México, D.F., México:Mc Graw Hill.
14. Mays, L. (2002). Manual de sistemas de distribución de agua. Madrid, España.
15. OMS (2012). Control de calidad de agua potable. Madrid, España.
16. Orozco, L.(1999). Alternativas de manejo al problema de abastecimiento hídrico a través de dinámica de sistemas. Manuscrito no publicado, Bogotá, Colombia.
17. León, J. y Quintana, A.(2008). Propuesta de aprovechamiento sustentable del recurso hídrico. Municipio Juan Antonio Sotillo, Venezuela.
18. Domínguez, P. y Moreno, A. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramienta de evaluación de recurso hídrico colombiano. Cali, Colombia.
19. Shell, K. (1998). Dinámica industrial. Boston, USA.
20. Morlan, J.(2010). Water Resources Management. New York,USA.
21. Mateu, B. (2004). System Dynamics Review. London, Inglaterra.
22. Luemberger, S. (1997). Dynamics of growth in a finite world. Cambridge, Massachusetts.
23. Tuyá, P., Ramos, O. y Dolado, N. (2000). Tendencias del medio ambiente. Caracas, Venezuela.
24. Gordillo, J. (1995). Iniciación a la simulación dinámica. Barcelona, España.
25. Morales, A. (2010). Iniciación en la dinámica de sistemas. Bogota, Colombia.

- 26.Drew, M.(1995). Business dynamics. Belo Horizonte, Brasil.
- 27.MINSA Perú (2005). Agua potable en el Perú. Lima, Perú.
- 28.SEDAPAL (2010). Sistema de distribución del agua en la Ciudad de Lima. Lima, Perú.
- 29.Saravia, N. (2004). El agua en el mundo. Caracas, Venezuela.
- 30.Bartoli, R. (2008). Aprovechamiento de aguas subterráneas. Buenos Aires, Argentina.
- 31.ANA (2005). La gestión del agua en el Perú. Lima, Perú.
- 32.Escolero, y. (2009). Dinámica para el abastecimiento de agua para consumo humano. Montevideo, Uruguay.
- 33.Ordoñez, A. (2005). Sistema de distribución de agua para consumo humano en la Ciudad de Santa Cruz. Santa Cruz, Bolivia.
- 34.Becerra, F. (2007). Balance hídrico. Cali, Colombia.
- 35.Escobedo (2008). Gestión ambiental del desarrollo urbano. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- 36.Bernal, C.(2010). Metodología de la investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales.

<http://www.vensim.com>

<http://www.sunass.gob.pe>

<http://www.epsasa.com.pe>

<http://www.inei.gob.pe>

<http://www.sedapal.com.pe>

ANEXO

ANEXO A

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

| VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | PREGUNTAS | | |
|-----------------|-----------------------|---|--|--|---|
| Modelo Dinámico | Diagrama Causal | Variables del sistema | 1.¿Cuáles son los principales componentes del sistema de agua potable en la Ciudad de Ayacucho? 2.¿Cuáles son los principales actores del sistema de agua potable en la Ciudad de Ayacucho? | | |
| | | Relación causa-efecto entre las variables | ¿De que manera se relacionan cada componente del sistema de agua potable? | | |
| | | Lazos de realimentación | ¿Cómo afecta o los componentes del sistema de agua potable un cambio en uno de ellos? | | |
| | Diagrama de Forrester | Variables de nivel | | 1.¿Cuál es la población total de la Ciudad de Ayacucho del 2005 al 2010? 2.¿Que volumen de agua cruda fué captado desde el 2005 al 2010 en la Ciudad de Ayacucho? 3.¿Que volumen de agua potable se produce del 2005 al 2010 en la Ciudad de Ayacucho? 4.¿Cómo se hace la distribución del agua potable en la Ciudad de Ayacucho? | |
| | | | Variables de flujo | 1.¿Cuál es la cantidad de nacimientos del 2005 al 2010 en la Ciudad de Ayacucho? 2.-¿Cuál es la cantidad de muertes del 2005 al 2010 en la Ciudad de Ayacucho? 3.¿Cómo calcula la demanda del agua potable? 3.¿Cuál es el consumo percapita de agua potable en la Ciudad de Ayacucho? | |
| | | | | Variables auxiliares | 1.¿Cuál es la tasa de natalidad del 2005 al 2010 en la Ciudad Ayacucho? 2.¿Cuál es la tasa de mortalidad del 2005 al 2010 en la Ciudad Ayacucho? 2.¿Cuáles son las fuentes de abastecimiento de agua? |
| | | | | | |
| | | | 1.¿Qué volumen de agua se produce del año 2005 al 2010? 2.¿Cuál es el volumen total disponible de agua potable en el reservorio principal para la Ciudad? | | |
| | | Abastecimiento de agua potable | Producción de agua potable | Volumen agua cruda captado | 1. ¿Cuál es el caudal promedio total del agua cruda captado del 2005 al 2010? 2. ¿Cuál es el volumen total de agua cruda captado del 2005 al 2010? |
| | | | | Volumen agua potable producido | 1.¿Qué volumen de agua se produce del año 2005 al 2010? 2.¿Cuál es el volumen total disponible de agua potable en el reservorio principal para la Ciudad? |

ANEXO B
FICHA PARA EL ANÁLISIS DOCUMENTAL

| | |
|--|---|
| <p>Autor: EPSASA y PROAGUA(Programa de agua y alcantarillado)</p> <p>Título: Equilibrio Hídrico en la Ciudad de Ayacucho</p> <p>Año: 2009</p> | <p>Ciudad,País:Ayacucho,Perú</p> |
| <p>Tema: Estructura del equilibrio hídrico del sistema de distribución</p> | |
| <p>Página: 5,10,45,46,89</p> | |
| <p>Ficha N° 01</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>Autor:Sunass(Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento)</p> <p>Título: Estudio Tarifario-EPSASA</p> <p>Año: 2007</p> | <p>Ciudad, País: Lima, Perú</p> |
| <p>Tema: Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en la Ciudad de Ayacucho</p> | |
| <p>Página: 16,17</p> | |
| <p>Ficha N° 02</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>Autor: Municipalidad Provincial de Huamanga-Subgerencia de Formulación de Proyectos</p> <p>Título: Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil Simplificado</p> <p>Año: 2008</p> | <p>Ciudad, País: Ayacucho, Perú</p> |
| <p>Tema: Población Actual y Referencial-Ciudad de Ayacucho</p> | |
| <p>Página: 4,48,72</p> | |
| <p>Ficha N° 03</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>Autor: Municipalidad Provincial de Huamanga-Subgerencia de Planeamiento Urbano y Catastro</p> <p>Título: Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Ayacucho 2008-2018</p> <p>Año: 2008</p> | <p>Ciudad, País: Ayacucho, Perú</p> |
| <p>Tema: Expansión Urbana-Ciudad de Ayacucho</p> <p>Página: 14-42</p> | |
| <p style="text-align: right;">Ficha N° 04</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Autor: ESAN</p> <p>Título: Formulación del Plan Estratégico 2010-2014 y Plan Operativo Anual(POA) 2010 de EPSASA</p> <p>Año: 2009</p> | <p>Ciudad, País: Lima, Perú</p> |
| <p>Tema: Gerencia Comercial</p> <p>Página: 37,38,49,50</p> | |
| <p style="text-align: right;">Ficha N° 05</p> | |

ANEXO C GUIA DE ENTREVISTA

| ENTREVISTA | | |
|--|--------|----------------------------|
| Entrevistado | Sr(a): | Cargo: |
| Entrevistador | | Fecha: |
| Ubicación: | | |
| SOBRE EL DIAGRAMA CAUSAL | | |
| Puntos de la entrevista: | | Respuesta del Entrevistado |
| 1.¿Cuáles son los principales componentes y actores del sistema de agua potable en la Ciudad de Ayacucho? | | |
| 2.¿De que manera y en que grado se relacionan cada componente del sistema de agua potable? | | |
| 3.¿Cómo afecta a los componentes del sistema de agua potable una disminución en la captación del agua potable? | | |
| SOBRE EL DIAGRAMA DE FORRESTER | | |
| Puntos de la entrevista: | | Respuesta del Entrevistado |
| 1.¿Cuál es la población actual total de la Ciudad de Ayacucho? | | |
| 2.¿Como hace los pronósticos del crecimiento poblacional? | | |
| 3.¿Cómo calcula la demanda del agua potable? | | |
| 4.¿Cómo hace el pronóstico para abastecer el agua potable en cierta época del año? | | |
| SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL AGUA POTABLE | | |
| Puntos de la entrevista: | | Respuesta del Entrevistado |
| 1.¿Cuáles son los fuentes de abastecimiento de agua cruda? | | |
| 2.¿Cuál es el caudal promedio total de agua cruda captado? | | |
| 3.¿Cuál es el volumen total captado de agua cruda por mes? | | |
| 4.¿Que volumen de agua potable se produce por mes? | | |
| 5.¿Cuál es el costo para producir un m ³ de agua potable? | | |

| | |
|---|--|
| 6.¿Cuál es el volumen disponible de agua potable para la Ciudad de Ayacucho? | |
| SOBRE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE | |
| 1.¿Cuál es la cantidad de usuarios del agua potable? | |
| 2.¿Cuál es el volumen disponible de agua potable para la ciudad? | |
| 3.¿Cuál es el volumen consumido de agua potable por mes? | |
| 4.¿Cuál es la tarifa promedio cobrado a los usuarios por m ³ ? | |
| 5.¿Que sector o categoría consume mayor cantidad de agua potable? | Social <input type="checkbox"/> Doméstico <input type="checkbox"/> Estatat <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> |
| SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE | |
| 1.¿Cómo se realiza la distribución del agua potable en la Ciudad de Ayacucho? | |
| 2.¿Cuáles son los sectores de distribución del agua potable? | |
| 3.¿Cúantos tanques de almacenamiento de agua potable se encuentra en la Ciudad? | |
| 4.¿Que volumen de almacenamiento tiene cada tanque? | |
| 5.¿Como se hace llegar el agua a ciertas zonas de la Ciudad en la que no llega las presiones de agua, y que falta conexiones? | |

**ANEXO D
GUIA DE ENCUESTA**

| ENCUESTA | | |
|--|--|---------|
| Información General | | |
| Encuestado: | | Fecha: |
| Ubicación: | | Sector: |
| SOBRE EL SERVICIO DE AGUA POTABLE | | |
| 1. ¿Usted cuenta con el servicio de agua potable en su casa?: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | |
| 2. ¿Cuenta con el servicio de agua potable las 24 horas del día todo el año? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | |
| 3. ¿Cuántos litros de agua potable aproximadamente consumen y/o utilizan por día en su casa? | | |
| 4. ¿Esta de acuerdo con los servicios prestados por EPSASA? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | |
| 5. ¿Cuántas veces a la semana hay cortes de agua en tu casa por parte de EPSASA? | | |

ANEXO E
DATOS HISTÓRICOS

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Población | 180000 | 183122 | 186325 | 189945 | 191800 | 195782 |
| Nacimientos | 3600 | 3842 | 3698 | 3702 | 3922 | 4001 |
| Defunciones | 900 | 938 | 917 | 949 | 958 | 949 |

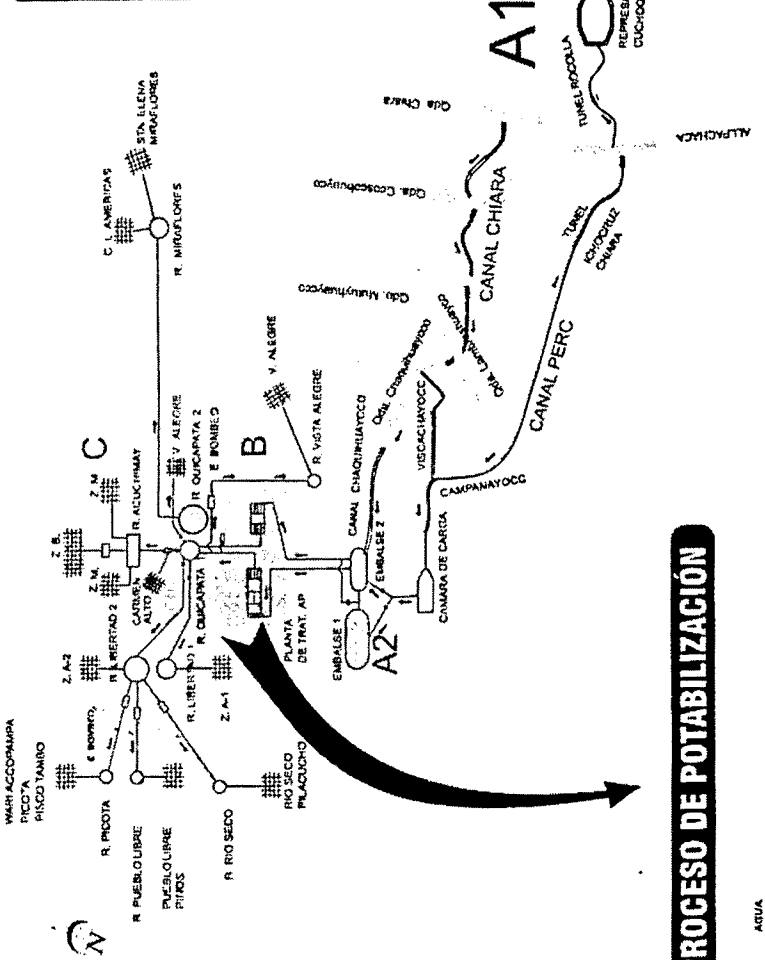
Datos históricos demográficos Ciudad de Ayacucho. (INEI,2010)(DIRESA,2010)

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Demanda Poblacional Agua Potable | 28998 | 30996 | 32017 | 30369 | 31567 | 31401 |

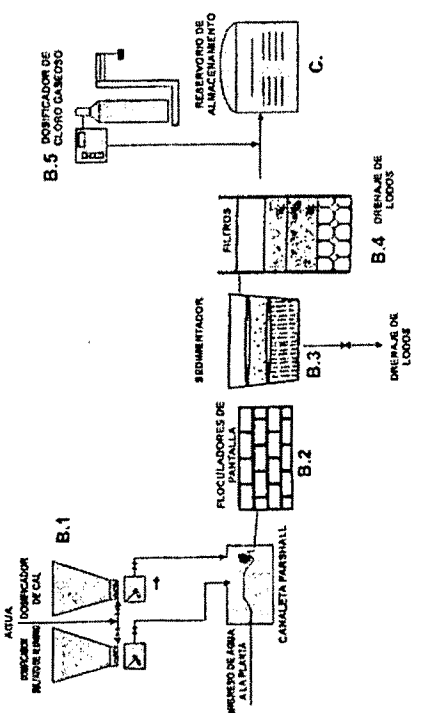
Datos Históricos demanda por agua potable(m3/mes). (EPSASA,2010).

ANEXO F
SISTEMA DEL AGUA EN LA CIUDAD DE AYACUCHO

SISTEMA DE CAPTACIÓN TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE AYACUCHO



PROCESO DE POTABILIZACIÓN



PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE AYACUCHO

- A.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO.**
Las aguas que abastecen a la planta de tratamiento de agua potable de Ayacucho, provienen de dos fuentes:
- Canal Chacabuco - 500 litros por segundo
- Canal Chiara - 100 litros por segundo
- A.2 EMBALSES REGULADORES**
Dos unidades que almacenan el agua (presedimentación)
- B.1 CÁMARA DE MEZCLA RÁPIDA**
En esta unidad se adiciona al agua un coagulante químico EL SULFATO DE ALUMINIO, para separar las impurezas.
- B.2 FLOCULACIÓN**
En esta etapa se agitan las partículas coloidales que contiene el agua por acción del coagulante, formando los flocs.
- B.3 SEDIMENTACIÓN**
En esta unidad se separan los flocs formados por acción de la gravedad, precipitándose al fondo del sedimentador.
- B.4 FILTRACIÓN**
El agua sedimentada se filtra por un conjunto de capas filtrantes de grava, arena y antracita, para retener los flocs o partículas residuales.
- B.5 CLORACIÓN O DESINFECCIÓN**
Se adiciona al agua el cloro gaseoso a fin de destruir los microorganismos y toda contaminación para garantizar el agua potable.
- C. DISTRIBUCIÓN**
RESERVOIRIO DE ALMACENAMIENTO
Regula la disponibilidad de agua almacenable para la distribución respectiva a los diferentes reservorios y de esta a los domicilios.