

1.- DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1.- Antecedentes.

Durante el año 1977 y parte de 1978, la asociación San Jacinto conformada por: La Empresa Nacional de Electricidad (ENDE), la Corporación de Desarrollo Regional de Tarija (CODETAR), y los Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR) junto al consorcio internacional de consultoría SOFRELEC de Francia y CONSA de Bolivia, realizan el estudio de factibilidad para la realización de un proyecto de construcción de una presa de embalse denominado “Proyecto Múltiple San Jacinto”

Dicho proyecto tiene como finalidad:

- El aumento de las áreas cultivadas y regadas, la intensificación de los cultivos, y la lucha contra la erosión, y como consecuencia ingresos mayores y más seguros para los campesinos.
- La producción de energía hidroeléctrica con vistas a satisfacer una parte importante de las necesidades crecientes de la ciudad de Tarija.
- Los efectos indirectos del dicho proyecto a nivel regional del punto de vista social y económico.

A fines de 1997, se crea la Unidad Desconcentrada "Proyecto Múltiple San Jacinto" (PMSJ), dependiente de la Prefectura del Departamento de Tarija, para hacerse cargo de la gestión del sistema. Esta institución cuenta con un amplio equipo técnico y administrativo, el cual también tiene la responsabilidad de continuar desarrollando el componente de riego, habilitación de tierras y producción agrícola, de acuerdo a las metas inicialmente previstas con el proyecto.

El Proyecto Múltiple San Jacinto, beneficia con el suministro de agua para riego a más de 14 comunidades del Valle Central de Tarija, también el recurso hídrico es utilizado para agua potable y generación de energía eléctrica. Además, el embalse se

constituye en un importante atractivo turístico de la ciudad de Tarija y permiten el desarrollo de una serie de actividades recreativas, como: pesca deportiva, camping, canotaje, ciclismo y paseo en botes.

En los últimos años, se ha verificado un crecimiento sostenible y constante de áreas agrícolas; además de una intensificación de la agricultura, caracterizada por el cultivo de la vid y hortalizas y una necesidad de energía eléctrica importante para la ciudad de Tarija.

A este hecho se suma el crecimiento de la actividad hidrocarburífera que como consecuencia ha generado un crecimiento poblacional que agravó aún más el problema de escasez de agua potable y energía eléctrica.

Imagen N° 1.1
Presa “San Jacinto”



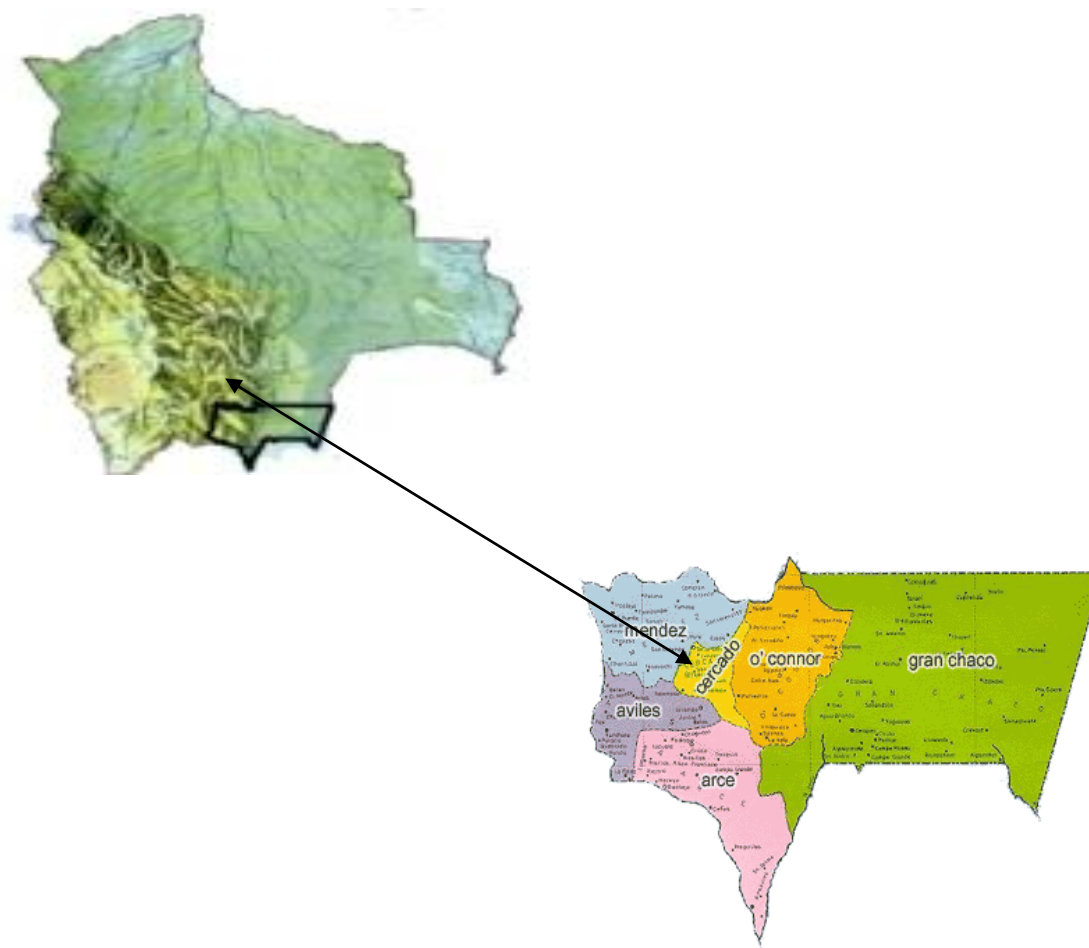
1.2.- Ubicación

1.2.1.-Macro ubicación.

El Departamento de Tarija se halla ubicado en la parte sur de Bolivia, limitando al norte con el Departamento de Chuquisaca al este con la República Paraguay, al sur con la República de la Argentina y al oeste con los Departamentos Potosí y Chuquisaca.

La ubicación geográfica del Departamento de Tarija está determinada por los paralelos $20^{\circ} 50'$ y $22^{\circ} 50'$ de latitud sur y por los meridianos $62^{\circ} 15'$ y $65^{\circ} 20'$ de latitud oeste, tiene una extensión de 37623 km.

Imagen N° 1.2
Macro Ubicación.



1.2.2.-Micro ubicación.

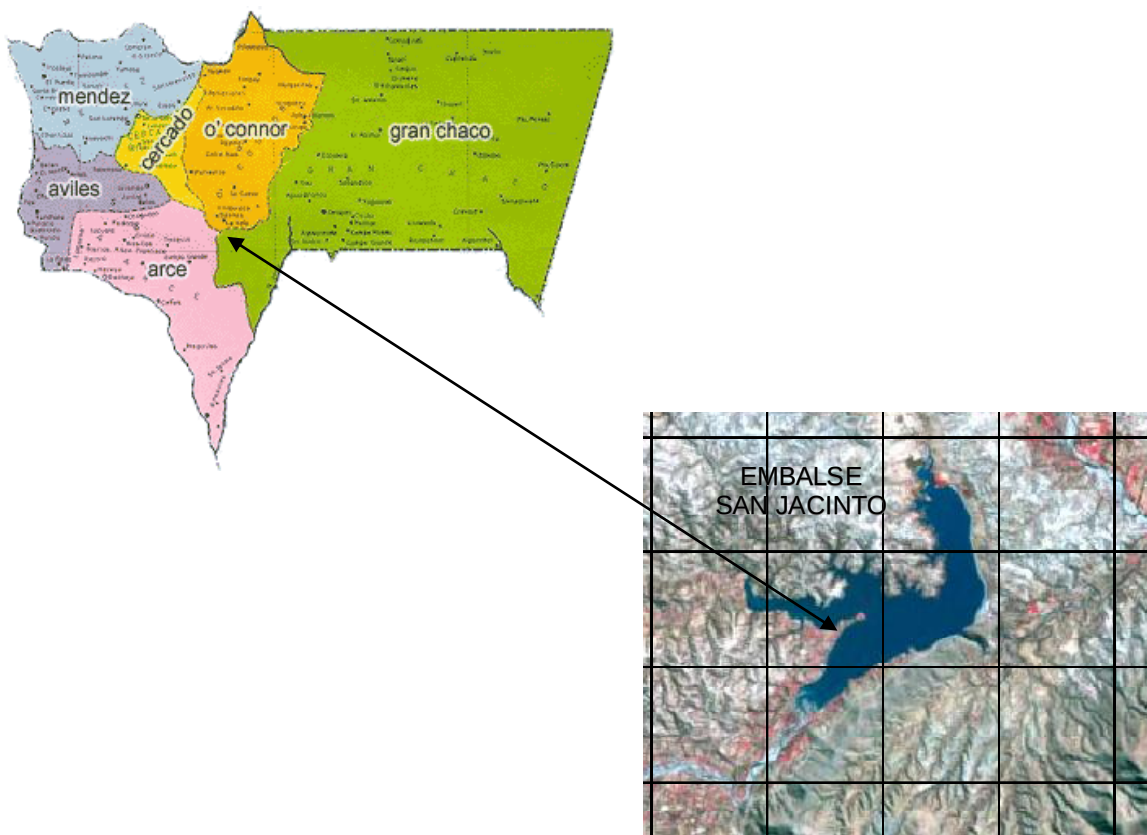
El proyecto considerado está ubicado sobre el río Tolomosa, a 7 Km aproximadamente al Sud-Este de la ciudad de Tarija.

El río Tolomosa tiene sus nacientes en la cordillera de Taxara a 3.500 metros de altura sobre el nivel del mar, aproximadamente.

A nivel de sitio de la presa su altitud es de 1845 metros y la ciudad de Tarija está ubicada a la cota 1850 aproximadamente.;

Las coordenadas del sitio son las siguientes: Latitud Sur: $21^{\circ} 35' 45''$ Longitud Oeste: $64^{\circ} 43' 30''$.

Imagen N° 1.3
Micro Ubicación.



1.3.- Aspectos climáticos.

El área del proyecto de embalse San Jacinto se emplaza en la comunidad del mismo nombre, pertenece a la alta cuenca del río Tolomosa donde los afluentes, como el río de Calderillas, Pinos, y Sola son la mayor influencia sobre el área del proyecto.

Entre los parámetros climáticos más representativos podemos indicar a la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y la evaporación por tal motivo se hará una descripción de las estaciones meteorológicas por considerarse representativas de la zona con respecto a la comunidad de San Jacinto

1.3.1.-Precipitación.

Los datos de precipitación señalan que el promedio anual es de 657,4 mm para todo el sistema y los valores varían desde los 386,3 mm, hasta los 1074,1 mm. Por el sector del sistema de riego de Tablada, la precipitación es Mayor por la proximidad con la cordillera de Sama.

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (Noviembre-Abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (Mayo-Octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las subcuencas del Río Santa Ana.

También se presenta precipitaciones máximas en 24 horas en un promedio de 109,4 mm.; días con lluvia de 71, tal como se muestra en el cuadro siguiente (Cuadro 1).

Tabla N° 1.1
Precipitación en zona de Proyecto

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P/Anual
Aeropuerto	133,3	113,9	83,6	21,5	2,4	0,8	0,6	2,2	6,8	36,1	69,9	130,9	602,0
El tejear	133	107,1	95,5	18,6	3,1	0,9	1,0	2,8	7,3	39,4	80,9	132,0	621,7
San Jacinto	110,1	106,9	99,8	19,5	2,6	0,3	0,9	3,3	8,3	44,8	78,9	115,0	590,4
Turumayo	168,9	169,8	161,4	30,2	5,7	0,7	0,5	1,8	21,2	55,0	97,0	168,8	881,0
San Andrés	202,2	195,2	176,6	43,3	8,8	1,8	2,6	8,2	16,9	82,8	135,2	200,6	1074,1
Sella Quebradas	131,8	115	99,4	19,6	4,8	0,9	1,0	1,8	13,1	28,0	60,4	119,8	595,4
Yesera Norte	142,2	124,6	104,6	26,7	5,1	1,4	1,5	5,4	9,4	39,4	70,0	123,5	653,7
San Pedro	135,9	96,6	83,5	18,4	1,2	0,0	0,2	3,6	4,1	15,9	52,7	99,9	512
Santa Ana P	106,8	67,2	53,6	10,5	4,3	0,6	0,9	0,4	4,0	23,9	26,6	87,4	386,3
PROMEDIO	140,5	121,8	106,4	23,1	4,2	0,8	1,0	3,3	10,1	40,6	74,6	130,9	657,4

Fuente: SENAMHI.

1.3.2.-Temperatura.

La temperatura media del área del embalse, comunidad de de San Jacinto oscila alrededor de los 17.4° C. con máximas durante el periodo de verano de aproximadamente 39.4°C.En cuanto a las mínimas registradas éstas alcanzan los -8°C. Sobre todo durante el invierno que por las características de la zona la humedad es un factor decisivo para alcanzar estos valores extremos

Tabla N° 1.2
Temperatura en zona de Proyecto

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P/Anual
Aeropuerto	20,7	20,3	19,9	18,3	15,4	13,3	13,1	15,0	16,8	19,4	20,2	20,7	17,8
El tejear	21	20,5	20,2	18,6	15,7	13,7	13,5	15,4	17,0	19,5	20,3	20,9	18,0
San Jacinto	20,6	20,2	20	18,6	16,1	13,9	13,8	15,3	16,6	19,3	20,0	20,7	17,9
Turumayo	20,4	20,1	20,2	18,2	15,6	14,6	13,9	16,7	17,5	19,6	19,8	20,6	18,1
San Andrés	20,1	19,5	19,2	18,0	15,4	14,3	14,3	16,3	17,1	18,8	19,2	19,7	17,7
Sella Quebradas	19,7	19	18,8	17,8	15,5	14,5	13,8	15,8	16,8	19,0	19,2	19,9	17,5
Yesera Norte	17,4	16,4	18,2	14,9	13,4	12,7	11,4	16,4	14,2	16,2	16,5	17,7	15,0
San Pedro	18,9	18,1	18,1	17,5	15,2	14,0	12,4	16,0	16,6	19,9	18,9	19,6	17,1
Santa Ana P	22,2	20,8	21,6	15,1	13,2	13,1	18,7	15,5	19,6	18,0	16,5	20,7	18,0
PROMEDIO	20,1	19,4	19,4	17,4	15,1	13,8	13,9	15,5	16,9	18,9	19,0	20,1	17,4

1.3.3.-Humedad relativa.

La humedad relativa en el área de influencia de la presa, comunidad de San Jacinto depende de factores como temperatura, altura sobre el nivel del mar, orientación de las pendientes y régimen de precipitación, es así que varía de acuerdo a zonas bien diferenciadas,

Los meses con humedad relativa más alta que son: enero, febrero y marzo con valores cercanos a 80% de humedad, mientras que en junio y julio este valor es alrededor del 35%

1.3.4.-Granizadas.

Los valles que desarrollan actividades agrícolas en la cueca del Tolomosa especialmente aquellos próximos a la cordillera de Sama y con menor frecuencia en el Sub Andino, son azotados por las granizadas, con una ocurrencia muy local de las tormentas y la falta de registro de datos resulta muy difícil pronosticar la ocurrencia de granizadas.

1.3.5.-Evaporación.

La evaporación desde la superficie libre de agua está alrededor de los 1600mm/año, estimándose la evapotranspiración potencial en 1280mm/año originándose como consecuencia un déficit hídrico de 670mm, siendo los meses más críticos los de agosto, septiembre y octubre con valores que sobrepasan los 150mm.

1.3.6.-Frentes fríos.

Sin duda la mayor frecuencia de frentes fríos sobre las regiones bajas del departamento se presenta durante el invierno austral (mayo, junio, julio y agosto) estos frentes se caracterizan por vientos de componente meridional positiva, es decir vientos de dirección “Sur” con abundante humedad pero escasa actividad colectiva sobre llanos orientales y la Amazonia Boliviana, registrándose temperaturas menores en el sud este del país, es decir, al ingreso de sistemas frontales, el gradiente de temperaturas es de norte a sur.

El posterior descenso de temperaturas depende sustancialmente del apoyo del sistema anticiclónico post-frontal después del paso del frente.

En caso de que el anticiclón post-frontal precede, generalmente se esperan bajas temperaturas y si la presencia de este fenómeno sinóptico se prolonga por varios días sobre las regiones de la ciudad de Tarija, entonces las temperaturas nocturnas bajan considerablemente.

1.3.7.-Heladas

La época de mayor probabilidad de heladas se inicia a fines del mes de mayo y se extiende hasta fines del mes de agosto, considerando la información de los últimos 30 años recogida en las estaciones de AASANA .

El periodo medio libre de heladas en Tarija esta alrededor de los 273 días quedando un periodo medio con heladas de 92 días, comprendidas entre el 25 de mayo y el 25 de agosto.

La máxima frecuencia de heladas corresponde a 1962 con 44 heladas y la mínima corresponde a 1980 en la que se presentaron heladas en solo 8 días.

1.3.8.-Vientos.

La época en la cual se registran con mayor intensidad está comprendida entre los meses de julio a octubre, se registran las mayores velocidades del viento que generalmente son del orden de 8.7 km/h, a 2 m de altura con dirección sud.

De acuerdo a datos obtenidos en la estación del Tejar, los vientos predominantes se presentan del sudeste, con una velocidad media de 6.3 km/h en los meses de septiembre y octubre, se tiene las mayores velocidades con 8.8 y 9.2 km/h, respectivamente, mayo es el mes con vientos con velocidades menores a 4.9 km/h.

1.4.- Aspectos hidrográficos.

La cuenca del río Tolomosa está formada por seis subcuencas ; La quebrada de Tablada, Río Seco, Río el Molino, que desembocan directamente al embalse de San Jacinto, el Río Sola con el Río Pinos forman el Río Tolomosa que desemboca en el río Mena el cual es el principal alimentador del embalse.

Estos ríos nacen en las serranías de Tajsara, mientras avanzan por su recorrido aumentan su caudal, constituyéndose en las principales fuentes de agua para la zona y en especial al lago.

1.5.- Aspectos bióticos.

1.5.1- Vegetación.

En el mapa ecológico de ZONISIG el área de estudio del proyecto está ubicada en la zona de vida de: Matorral, a sub clase semimorfórfico, grupo deciduo por sequia, piso montano, el tipo de vegetación está constituido por matorrales xerofíticos de los valles interandinos que tiene su mayor expresión en las colinas bajas y las pendientes inferiores de las serranías circundantes; La vegetación de la zona se caracteriza por la presencia de especies vegetales nativas y algunas exóticas implantadas, la flora representativa de la zona se caracteriza por presentar bosques ralos de especies dominantes, población de leguminosas espinosas pertenecientes a la familia Mimosácea, formando matorrales puros también se encuentran algunas especies como molle, jarca y con pequeños rodales de pinos alisos, etc. Dentro de las especies implantadas las que más predominan en la zona es el Eucalipto, Ciprés Álamos blanco y plateado, Ceibo, Grevilla, que fueron implantados de acuerdo al requerimiento de los comunarios, especies que fueron comprados o adquiridos por donación de algunas entidades públicas.

Tabla N° 1.3
Vegetación en zona de Proyecto

TIPO DE VEGETACION	
NATIVAS	
Churqui	Acacia caven
Molle	Schinus molle
Tarco	Acacia visco
Tusca	Acacia aramo
Chañar	Geofrea decorticans
Algarrobo	Prosopis nigra
Molle	Schinus molle
EXÓICAS	
Ceibo	Erytrina cristagalli
Tarco	Jacaranda mimosifolia
Pino	Pinus radiata
Carnaval	Casia carnaval
Chacatea	Dodonaea viscosa
CACTÁCEAS	
Ulala	Cereus validus
Cardón	Cereus peruviana
Penca	Opuntia salmiana
ARBUSTIVOS	
Chilca	Bacharis sp.
Cedrón del monte	Aloysia gratissima
Hediondilla	Cestrun parqui
Palan Palan	Nicotiana glauca

Fuente: Zonisig.

1.5.2.- Fauna.

Las comunidades circundantes al área de embalse de la presa de San Jacinto está constituido por una variedad de flora y fauna de acuerdo al estudio de la Reserva Biológica Sama se identificaron 207 especies de aves, 57 de mamíferos 23 de reptiles 4 especies de peces nativos y 83especies de artrópodos

Tabla N° 1.4
Listas parcial de fauna del área de influencia “San Jacinto”

AVES	
Paloma manchada	Columba maculosa
Colibrí grande	Colibrí curuscans
Perdiz	Tiramolis pentiandi
Martin pescador	Chlorocenyle americana
Águila mora	Acopiter siriatus
Garza blanca	Egretia ihula
Carpintero real	Colaptes mela
MAMIFEROS	
Zorro	Pseudolopex culpaeus
Zorrino	Conepalus chingarex
Ratón	Mus musculus
Huron	Galidis cuja luleola
Gato andino	Felis jacobita
Liebre	Lepus europaeus
PECES	
Doradito	Oligosarcus bolivianus
Mojarra	Astyanax bimaculatus
Chujruma	Plecosiomus borelli
Doradito	Acrobrycom tarije
REPTILES	
Lagartija	Liolaemus alyicolor
Víbora	Philodrias aestivus
Sapo	Bufo arenarun
Rana	Hyla albonigra
Culebra	Tachymenis perubiana

Fuente: Plan de Manejo de la R.B.C.S

1.6.-Aspectos socioeconómicos.

1.6.1.-Descripción de las características productivas

Dada las características de la zona geoeconómicas de la zona se ha podido evidenciar que la misma se basa en la agricultura en mayor medida, el cual es el pilar fundamental de las economías familiares sin dejar de lado como complemento la ganadería el cual se constituye en el banco de ahorro de las familias.

Las características productivas de la comunidad están sometidas a dos modalidades:

- A riego, con dotación hídrica suficiente durante todo el año, los principales cultivos son el maíz, papa cebolla, arveja.
- A secano, que son parte de las tierras, las cuales no se encuentran en cercanía a los canales de distribución y/o a los ríos.

1.6.2.-Descripción de la tenencia de la tierra.

De acuerdo a la información obtenida se tiene en la zona las parcelas son de propiedad de los agricultores cuyas parcelas tiene tamaños que van desde 1.5 has, A 100has/familia; Así también existen en la zona familias que tiene menos tierra y el tamaño de sus terrenos va de 0.25 a 1.5 has

1.6.3.-Actividades económicas de las familias

Las familias de la zona de estudio, por las características productivas y el acceso al recurso agua para los cultivos, realizan más de una actividad para obtener sus ingresos económicos.

Tabla N 1.5

Variedades de especies cultivadas en la zona

CULTIVOS	VARIEDADES
Alfalfa	Africana Forrajera Americana 2001
Maíz	Forrajero PisanKalla Blanco
Papa	Revolucionaria Deciré Americana
Avena	Variedades de Cochabamba

Fuente: Datos de entrevistas a los usuarios, 2011

Cabe hacer notar que en la zona tan solo cuenta con riego el 43% de las familias en época seca y en verano el 55% de las propiedades cuentan con riego, por lo que los

comunarios se ven obligados a realizar hasta tres actividades productivas para lograr ingresos económicos para solventar sus gastos.

1.6.4.-Sistema productivo

1.6.4.1.-Agrícola

Las comunidades, que se encuentran dentro del distrito en coordinación con Instituciones u ONGs, paulatinamente van desarrollando proyectos por medio de los cuales se construyen infraestructuras productivas

Los principales cultivos practicados en el distrito por orden de importancia son: La papa, el maíz, la arveja, cebolla, y el maní, en la producción agrícola se practican técnicas tradicionales de cultivos, debido especialmente a las dificultades económicas, falta de técnicas mecanizadas y la reducida superficie agrícola con que cuenta cada unidad familiar.

1.6.4.2.-Pecuario.

La producción ganadera de la zona, tiene una importancia económica entre las familias en especial el ganado vacuno mientras que el ganado ovino, caprino, porcino y las aves de corral son considerados como un ahorro en las familias.

1.7.-Servicios básicos.

1.7.1.-Agua potable.

De acuerdo a la información recabada se tiene que en 9 comunidades se cuenta con agua a domicilio, la cual es apta para el consumo y en dos comunidades se están realizando el trabajo de instalación como ser Tolomosita Sud y San Jacinto Sud, de las comunidades que cuentan con el servicio de agua el 78% de las familias cuentan con el servicio en domicilio y las demás se encuentran cerca del domicilio.

1.7.2.-Servicios sanitarios.

Según el diagnóstico UTEPLAN de las once comunidades del distrito siete cuentan con servicio de letrinas de las cuales se benefician al 31 % de las familias. Las comunidades donde más se benefician de este sistema fueron San Jacinto Norte, Tablada Grande y Pampa Redonda. Tiene este servicio pero no se lo tiene cuantificado.

1.7.3.-Electricidad.

El distrito seis un 90 % de las comunidades cuentan con energía eléctrica el cual abarca a más del 70 % de las familias de la comunidad.

1.7.4.-Educación.

En las once comunidades del distrito existen nueve escuelas seccionales y dos núcleos los cuales tienen falencias en su inmobiliario u mobiliario, el cual no es el suficiente porque año tras año existe aumento de estudiantes en todos los niveles, con relación alumno profesor alumnos, existen alrededor de 25 estudiantes por docente lo cual es lo satisfactorio.

1.7.5.-Salud.

Existen en el distrito dos postas sanitarias lo cual no es suficiente para la atención de las familias por lo que la mayoría de las comunidades cercanas a la ciudad hacen uso de las postas como PROSALUD, Posta Villa Buch, y el Hospital San Juan de Dios, cuando las afecciones son graves.

La medicina natural o tradicional a través de los curanderos o médicos caseros, son los desempeñan un papel importante en las comunidades ya que ellos son los que tienen diversas enfermedades y problema traumatológicos, además por ser más barata que la de los hospitales, es que las familias hacen uso de este medio.

1.7.6.-Vivienda.

Las viviendas en la zona por lo general se encuentran distribuidas a lo largo de los caminos vecinales, en torno a las escuelas e iglesias sin ningún ordenamiento urbano.

La mayoría de las viviendas son rústicas las cuales han sido mejoradas con materiales de construcción, el material básico de construcción son la tierra y paja para la construcción del adobe, ladrillo, caña, madera y teja las mismas que han sido elaboradas por los propios comunarios.

Se observa que existe homogeneidad de las viviendas en lo que se refiere a la construcción de las paredes por ejemplo 83% de las viviendas son de adobe 9.9% ladrillo y 5% de piedra.

El piso, 68% son de tierra un 8.1% de mosaico un 23.6% son de cemento; respecto al techo el 70% son de teja (excepcionalmente de calamina) 30% de paja y barro. Éstas son las más susceptibles a la proliferación de insectos.

Uso del combustible para la preparación de los alimentos es la leña la cual es usada por tradición y en este caso también por necesidad ya que en las comunidades en especial las más lejanas a la ciudad se les hace difícil el uso del gas licuado, uno por el precio del mismo y otro por no existir a disposición en sus comunidades.

1.8.-Aspectos socioculturales.

1.8.1.-Organizaciones sociales.

En la zona se distinguen diversos tipos de organizaciones sociales, entre las más importantes se encuentran el Sindicato Agrario, Centro de Madres, Juntas de Auxilio Escolar, Clubes Deportivos y otras asociaciones.

1.8.2.-Características culturales.

La comunidad tiene gran influencia de la religión católica por lo que las fiestas patronales se circunscriben al calendario de festividades tradicionales como la fiesta del Carmen, Santiago, Virgen del Rosario, San Antonio etc.

1.8.3.-Descripción de las instituciones de influencia.

En la zona las instituciones de mayor influencia son la Sub Gobernación a través de las obras de electrificación y ampliación de canales, la H.A.M. y la Sub Alcaldía están velando en el mejoramiento de escuelas y postas sanitarias, el SEDECA dentro de lo que significa el asfaltado del camino, y otras instituciones de carácter particular.

1.9.-Vías de acceso y comunicaciones

Por su proximidad con la ciudad de Tarija la comunicación es fluida a través de las carreteras, y caminos, las distancias y los tiempos son mínimos ya que se cuenta con dos rutas San Jerónimo - San Luís, asfaltada en los primeros 3 km. desde allí se continúa por una carretera de tierra transitable todo el año sin ninguna dificultad.

También se llega al embalse a través de la ruta de la Tablada asfaltada hasta el lugar del embalse

Se cuenta con servicios de transporte públicos como micros, taxis que transitan todo el tiempo por su cercanía con la ciudad.

Los medios de comunicación más comunes son las radio emisoras de Tarija. Se cuenta con servicios telefónicos públicos y privados que permiten comunicación local, nacional e intencional.

2- OBJETIVOS.

La realización del trabajo, busca el desarrollo del estudio del funcionamiento del embalse San Jacinto con todas las variables identificables y con existencia de registros medidos, mediante ello cumplir los siguientes objetivos:

2.1.- Objetivo general.

Evaluar el uso del agua y el comportamiento hidráulico del embalse “San Jacinto”, utilizando los datos medidos reales luego de 20 años de funcionamiento.

2.2- Objetivos específicos.

Los objetivos específicos son consecuencias esperadas del análisis de ciertos aspectos puntuales, entre los cuales podemos citar:

- Estudiar el uso de agua tanto para riego como para generación de energía hidroeléctrica realizando un balance de comparación entre en estudio y datos reales medidos a través de los años.
- Analizar el comportamiento del transporte de sólidos sedimentados, debido a que estos tendrán una incidencia importante en el periodo de vida útil del embalse.
- Analizar la regulación y laminación del embalse durante sus primeros 20 años de operación, para verificar si los volúmenes de agua proyectados se utilizaron de forma correcta.
- Realizar un diagnóstico de la incidencia que podría tener sobre los volúmenes destinados a generación hidroeléctrica un incremento en la dotación de volúmenes para irrigación.

- Realizar la observación del sistema de auscultación de la presa en arco y de los sistemas hidráulicos que componen la central hidroeléctrica y el circuito hidráulico.

3.- GENERALIDADES DEL ESTUDIO.

Para poder realizar el estudio de lo que corresponde el Proyecto Múltiple San Jacinto es importante poder conocer los aspectos u obras físicas que lo componen.

El proyecto consta de los siguientes aspectos físicos:

- Embalse San Jacinto y obras hidráulicas.
- Cuenca del río Tolomosa.

Estas dos obras físicas poseen características propias que las hacen diferentes pero sin embargo las dos se relacionan, dando un marco de directrices de utilidad para el análisis.

Además que estos dos aspectos fueron definidos objetivamente, para comprender su interrelación con el medio en un sentido global de cada uno de los elementos físicos del área de estudio, y para saber qué comportamientos o fenómenos se puede estudiar de acuerdo a las mediciones realizadas en los mismos, que puedan aportar algo útil al desarrollo posterior del análisis.

Para poder conocer estos dos aspectos ya antes mencionados tendremos que analizar las características generales de cada uno como también la información que podamos obtener de ellos.

3.1.-Embalse San Jacinto y obras hidráulicas.

3.1.1.-Embalse San Jacinto

El embalse “San Jacinto” se encuentra ubicado aproximadamente a 7 Km de la ciudad de Tarija y se encuentra formado por el dique La Tablada, el angosto de San Jacinto donde se encuentra construida la presa de doble curvatura y su principal aportante es el río Tolomosa.

Se puede estudiar al embalse “San Jacinto”, observando los siguientes aspectos:

- Curvas de capacidad de embalse.

- Volúmenes característicos.

3.1.1.1.-Curvas de Capacidad.

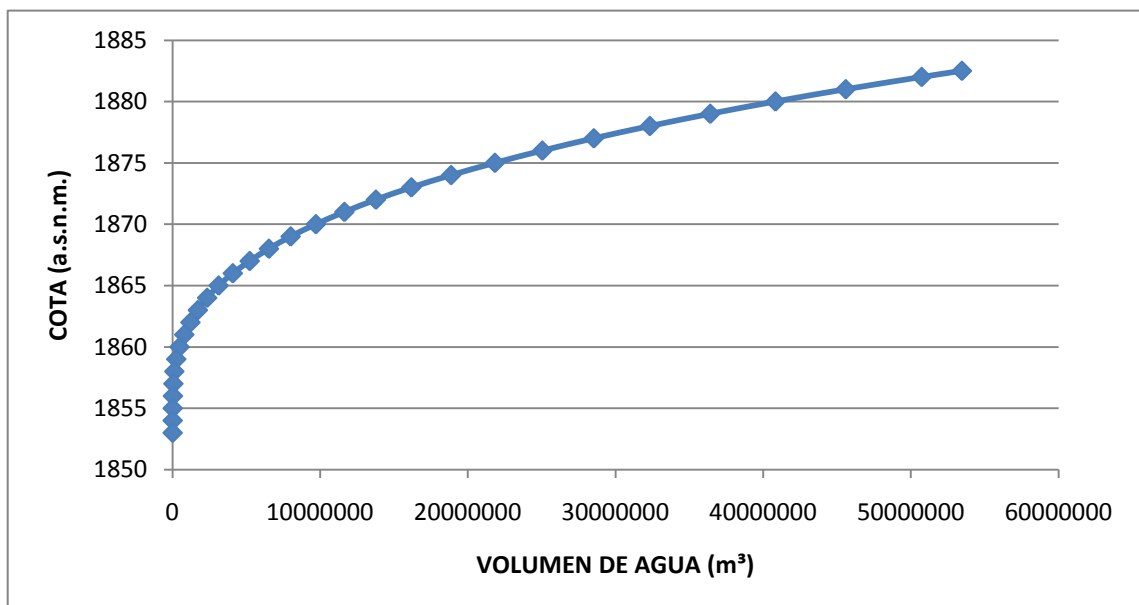
Las curvas de capacidad del embalse nos permiten calcular el volumen de agua que puede contener su vaso de almacenamiento para una altura dada, son estas curvas las fundamentales para su diseño y operación de dicho embalse.

Para calcular las curvas de capacidad se utilizan los planos topográficos, obteniendo los volúmenes y áreas acumuladas a cierta altura.

Estas curvas se realizan graficando en sus abscisas la variable elegida que podrá ser el volumen o el área acumulado, y en sus ordenadas se grafica las cotas del embalse que generalmente se utilizan las absolutas pero también es válida la graficación en cotas relativas.

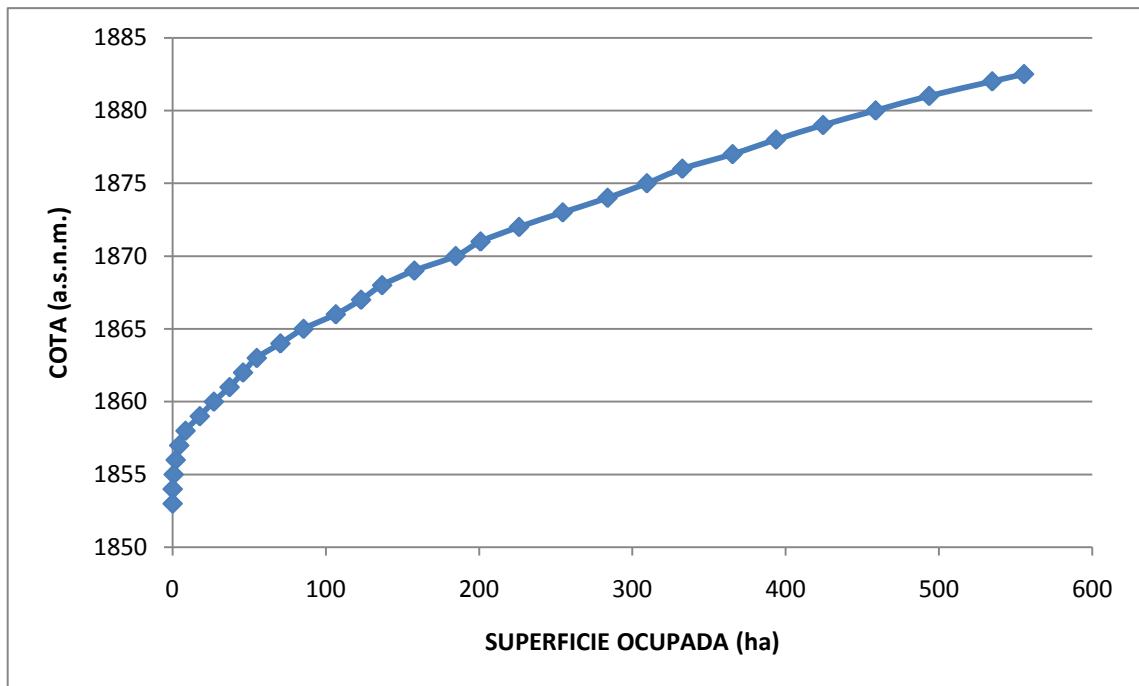
En nuestro caso utilizaremos las curvas de capacidad de 1989, siendo estas las más representativas para el objeto del estudio.

Gráfico N° 3.1
Curva de Capacidad Volumen Vs Altura



FUENTE: Estudio de Pre-inversión del proyecto Múltiple San Jacinto.

Gráfico N° 3.2
Curva de Capacidad Área Vs Altura



FUENTE: Estudio de Pre-inversión del proyecto Múltiple San Jacinto.

3.1.1.2.-Volúmenes Característicos.

Los volúmenes característicos de un embalse son aquellos que representan las diferentes funciones que ejecutaran las obras hidráulicas que se encuentran en él, durante todo el periodo de vida útil de dichas obras.

Dentro del embalse “San Jacinto” y de acuerdo a su estudio y diseño, podemos encontrar los siguientes volúmenes característicos.

- **Volumen muerto.-** El volumen muerto es el volumen destinado a contener todo los sedimentos que llegan y se depositan en el embalse y que no deberá ser menor al volumen que conformarán todos los sedimentos que llegan a él debido a sus aportantes durante todo el periodo de vida útil del embalse.
El volumen muerto en el embalse “San Jacinto” asciende a un valor de 13.5 Hm³.

- **Volumen útil.**-Es el volumen del embalse que se encuentra disponible para su uso en generación de energía eléctrica, irrigación, control de avenidas u otro propósito.

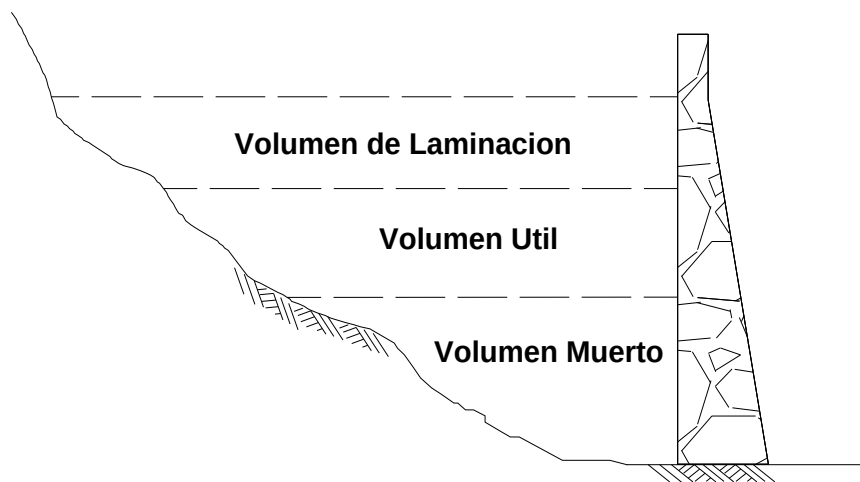
Es decir que el volumen útil es el volumen regulable del embalse.

El volumen útil inicial del embalse asciende a un valor de 41.03 Hm³.

- **Volumen de laminación.**-El volumen de laminación se presenta temporalmente durante la creciente de los ríos dando lugar al volumen forzado del embalse, el cual puede ser usado en algunos casos, pero por lo general es evacuado rápidamente por medio del vertedero de excedencias.

En este caso el volumen de laminación para la crecida decamilenal del proyecto asciende a un valor de 32.09 Hm³.

Imagen N° 3.1
Volúmenes Característicos



3.1.1.-Presa

La presa de “San Jacinto” es una bóveda de hormigón de doble curvatura, ubicada en el Angosto de San Jacinto.

La máxima altura es de 44.50 m, y la longitud del coronamiento excede los 100 m.

El espesor en la clave varía de 1.80 m en la cresta (debajo del puente), hasta un espesor máximo de 6.80 m cerca de la base.

Las obras hidráulicas de la presa comprenden un vertedero libre con umbral calado a la cota 1882.50 m.s.n.m. y de 900 m³/s de capacidad de evacuación cuando se produce la máxima crecida (periodo de retorno de 10000 años) que eleva el nivel del embalse hasta la cota máxima de 1887.00 m.s.n.m.

Dos desagües de fondo con umbral calado a la cota de 1852.50 m.s.n.m. y capaces de evacuar un caudal máximo de 60 m³/s, servidos por un juego de dos compuertas, una tipo vagón y otra tipo sector de circunferencia para cada desagüe.

Un revestimiento de protección en el pie aguas debajo de la presa asegura la protección de la roca del río y de las márgenes durante las evacuaciones de las aguas por los vertederos y desagües de fondo.

Una válvula de restitución permite dar agua a los ribereños entre la presa y la restitución de la central, siendo su capacidad máxima de 0.7 m³/s.

Para su máximo aprovechamiento se realizó la construcción de una carretera de una vía por encima de la presa, esto para aprovechar el turismo existente en la zona y para facilitar el paso a las comunidades cercanas.

Debido a que la presa representa un aspecto físico importante en nuestro estudio, procederemos a realizar un análisis más minucioso de esta, para ello tomaremos en cuenta siguientes aspectos:

- Niveles de la presa.
- Presas inflables.
- Auscultación.
- Información disponible.

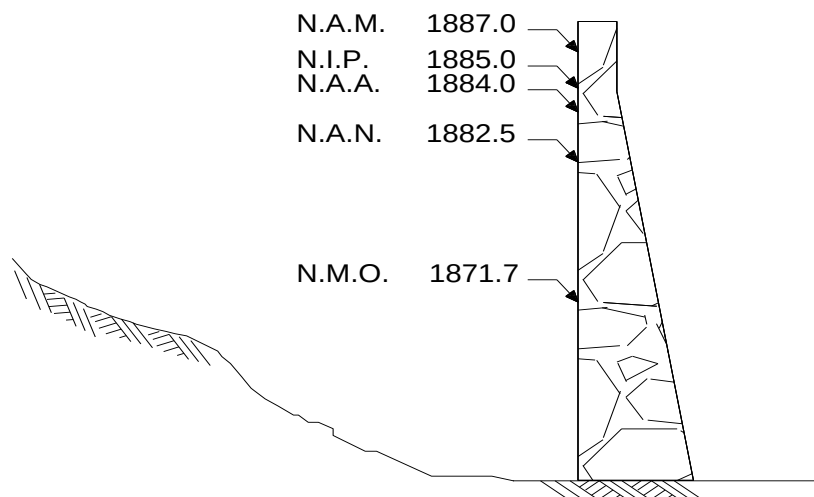
3.1.1.1.-Niveles de la presa.

Los niveles de la presa determinan tanto las alturas de operación del embalse como ciertos aspectos físicos que componen la presa y la central hidroeléctrica.

Estos niveles se encuentran representados por cotas absolutas.

- Nivel mínimo de operación de la planta de generación hidroeléctrica **N.M.O.**.- El nivel mínimo de agua embalsada para la generación hidroeléctrica que permite que las turbinas funcionen adecuadamente está dado por el nivel 1871.7 m.s.n.m.
- Nivel de aguas normales **N.A.N.** .- El nivel normal de agua embalsada que se tienen en el embalse San Jacinto alcanza la cota 1882.5 m.s.n.m.
- Nivel de almacenamiento adicional impuesto por las presas inflables **N.A.A.**.- El nivel que alcanzan las presas inflables es igual a 1884 m.s.n.m.
- Nivel de inundación máximo permisible para la operación del embalse **N.I.P.**.- El nivel máximo de agua permisible en el embalse San Jacinto es de 1885 m.s.n.m.
- Nivel de aguas máximas **N.A.M.** .- se encuentra representado por la cota 1887 m.s.n.m. y permite el ingreso de la crecida máxima de diseño, siendo esta la crecida decamilenal.

Imagen N° 3.2
Niveles del Embalse



3.1.1.2.-Presas inflables.

Las presas inflables, consisten de manera genérica en un tubo inflable de caucho armado, anclado en un cimientado de hormigón que se instala atravesando la cresta del vertedero de excedencia.

El inflado de estas presas de goma se realiza mediante 4 bombas ubicadas cada una en uno de los 4 vertederos del embalse.

El sistema a su vez es automatizado por medio de un computador y un dispositivo que es sensible al nivel de agua alcanzado en el embalse. Sin embargo actualmente el computador o el software empleado no es empleado puesto que existen algunos problemas técnicos debido a razones no especificadas.

El estudio de las presas inflables fue realizado en 1995 e implementado al año siguiente.

Las presas inflables se instalaron en el embalse “San Jacinto” con el objetivo de aumentar el volumen útil existente, debido a que este volumen útil de diseño se redujo considerablemente gracias a las altas tasas de sedimentación en el embalse.

El periodo de vida útil de las presas inflables gira alrededor de los 30 años, tiempo en el cual el periodo útil de la presa de arco estaría por terminar.

La altura incremental de las presas inflables es de 1.5 m con su cota definida de 1884 m.s.n.m., alcanzando un volumen útil a esa altitud de 49.44 Hm³ aumentando el volumen útil en 8.41 Hm³.

El porcentaje de incremento del volumen útil a esa altura asciende a un 20 % del volumen inicial.

Imagen N° 3.3

Presas Inflables



3.1.1.3.-Auscultacion.

La auscultación comprende la observación y medición de todos los dispositivos instalados para el control del comportamiento de las obras, y verificar con esta información si el comportamiento está de acuerdo a lo previsto o existen situaciones anómalas que deben tomarse en cuenta para la preservación de estas.

La auscultación en la presa de arco comprende:

- La medida de desplazamientos radiales y tangenciales del centro de la presa mediante un péndulo directo y uno invertido.
- Aforo de los 37 drenes de la pantalla.
- Mediciones topográficas de los desplazamientos de la bóveda, control de filtraciones en las galerías de cota 1861.
- Control de filtraciones en el paramento aguas debajo de la presa y en las márgenes en general.

- Aforo de filtraciones en el tapón y mediciones de desplazamientos en los macizos rocosos de apoyo de la presa.

3.1.1.4.-Informacion disponible.

Dentro de la información disponible a la fecha de la presa en arco podemos indicar:

- **Niveles de agua.-** Corresponde a las altura de volumen agua almacenada, leída mediante un limnómetro ubicado aguas arriba de la presa de arco.
La precisión del limnómetro es centesimal y las lecturas de dicho instrumento se las realiza una vez al día, todos los días y en hora establecida correspondiente a las 8:00 am, por personal capacitado del proyecto.
Las lecturas del limnómetro son expresadas en cotas absolutas.
La información se documenta de forma análoga, por lo tanto no se tiene una base de datos informática de las lecturas realizadas.
- **Desplazamientos.-** Los desplazamientos producidos en la presa son determinados de dos maneras, la primera es a través de los péndulos ya nombrados en el anterior punto y mediciones topográficas realizadas en puntos definidos del la presa.
La lectura del péndulo se realiza de igual manera que la lectura del limnómetro, por lo tanto también estas lecturas se encuentran documentadas de forma análoga.
Estas lecturas son expresadas en grados y permiten observar el desplazamiento horizontal de la presa.
Las mediciones topográficas se realizan gracias a puntos de cota establecida durante la construcción y permiten observar el desplazamiento vertical de la presa.

No se cuenta con otra información disponible o se desconoce la existencia de esta, a pesar del complejo sistema de auscultación descrito anteriormente.

3.1.2.-Dique.

El macizo de la Tablada, que rodea naturalmente el embalse en el lado Este, está constituido de sedimentos lacustres cuaternarios más o menos permeables y erosionables.

Como es necesario proteger este macizo con el fin de evitar percolaciones excesivas o erosionables internas, se ha construido un dique impermeable de tierra sobre la ladera aguas arriba de la Tablada.

El dique de la tablada tiene un volumen total aproximado de 1650 m³, una altura máxima de 33 m, y una longitud de 2790 m.

Este dique comprende de aguas arriba hacia aguas abajo, un riprap de protección, una capa gravosa de transición, un núcleo inclinado de arcilla compactada, y un filtro de material de aluviones.

Estos materiales se apoyan sobre un macizo construido con el material proveniente de las excavaciones.

La cara aguas debajo de este macizo está protegida por una capa de material arenoso y otra de material gravoso de graduación uniforme.

Las pendientes de los taludes varían aguas arriba de 4H/1V a 1.8H/1V; y aguas debajo de 2H/1V a 1.5H/1V.

El sistema de auscultación del dique de La Tablada está compuesto por piezómetros eléctricos instalados en ejes de instrumentación perpendiculares al eje de coronamiento, cámaras de aforo ubicadas en las tres quebradas importantes aguas abajo del dique, medición de niveles y aforos en la pantalla de drenaje sobre la galería mixta y el aforo de todas las filtraciones en el túnel de drenaje y galería mixta.

Imagen N° 3.4
Dique “La Tablada”



3.1.3.-Circuito hidráulico.

El circuito hidráulico incluye una toma de agua, una galería de conducción de 705 m. de longitud y 2.70 m. de diámetro, una chimenea de equilibrio de 36.36 metros de alto y 6.50 m. de diámetro interior.

Comprende también una galería blindada de 60 metros de longitud y diámetro interior de 2.70 m., una cámara de válvulas y dos tuberías forzadas de 70 m y de 1.60 m. de diámetro interior.

En el sector de la entrada a la planta hidroeléctrica, las dos tuberías forzadas se dividen en cuatro conductos forzados de 1.10 m. de diámetro interior, mismos que después de un corto recorrido, llevan las aguas hacia un número igual de turbinas Francis de eje horizontal.

La auscultación del túnel de carga se realiza mediante cuatro piezómetros puntuales paralelos al eje del túnel y dos piezómetros en la cámara de válvulas.

Imagen N° 3.5
Circuito Hidráulico



Imagen N° 3.6
Circuito Hidráulico



3.1.4.-Central.

La planta hidroeléctrica está constituida por un edificio principal, locales técnicos para la central, y un canal de descarga.

Una plataforma de acceso; un edificio contiguo para almacén y taller, y una vivienda para el sereno.

La sala de máquinas tiene 30.80 m. de largo, 14 m de altura, y un ancho de 8.50 m.

La potencia máxima instalada es de 7.4 MW en dos grupos de 3.7 MW que comprenden cada uno de un alternador de 3.7 MW y dos turbinas Francis de 1837 KW/h de potencia con una altura nominal de 51 metros. Los ejes de las turbinas están ubicados a la cota 1829.85 m.s.n.m. y la restitución está a la cota 1827.00 m.s.n.m. en el extremo aguas debajo de la losa de esta estructura. El salto varía entre los dos extremos de 55.50 m. como máximo y 44.70 m. como mínimo.

Imagen N° 3.7
Turbinas Francis



Imagen N° 3.8
Comandos Central Hidroeléctrica



Imagen N° 3.9
Transformador Eléctrico



3.1.5.-Obras de Toma.

La obra de toma de la central hidroeléctrica está compuesta de una torres de hormigón armado de 26.35 m de altura, fundada sobre roca en el nivel 1862.95. En el nivel 1889.30 tiene una plataforma desde donde se comanda el sistema de cierre y apertura de las compuestas y extracción de la rejilla de entrada.

Esta obra se encuentra ubicada a 150 m. aguas arriba del margen izquierda de la presa.

La abertura de entrada tiene una ancho de 7.00 m. y una altura de 5.00 m. en la rejilla. La abertura de la toma dispone de una reja con sistema de izaje a partir de la plataforma de comando; seguidamente se dispone de dos compuertas “vagón”, una principal y otra auxiliar, también accionadas desde arriba.

Finalmente, la entrada de agua tiene lugar por una abertura circular de 2.70 m de diámetro interior. Antes de realizar el salto se deriva el agua para los sistemas de riego, mediante una tubería de 1.10 m de diámetro operada con una válvula hidráulica tipo cortina.

Se tiene trazo de tubería hasta el portillo, lugar donde divergen todos los sistemas de riego del Proyecto Múltiple “San Jacinto”

Imagen N° 3.10

Obra de Toma



Imagen N° 3.11
Tubería de Derivación Sistemas de Riego

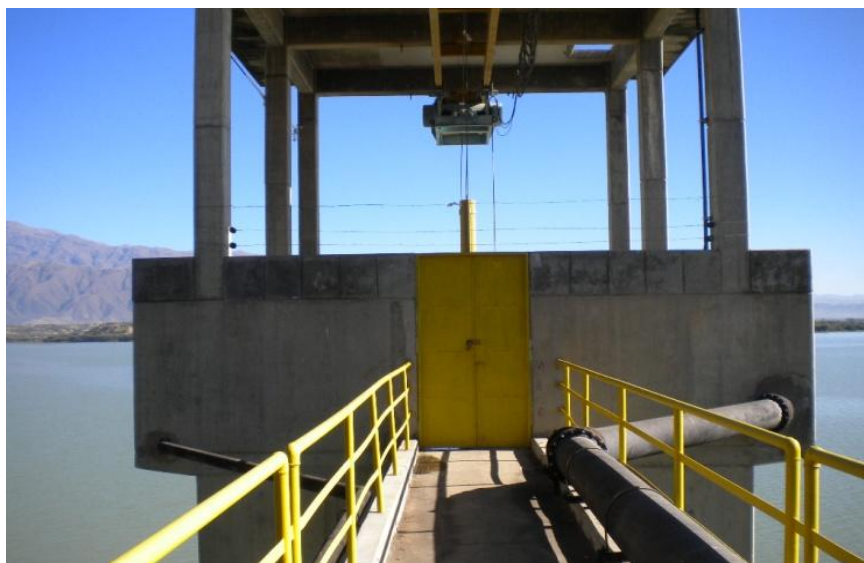


Imagen N° 3.12
Tubería de Derivación Sistemas de Riego



3.2.-Cuenca del río Tolomosa.

La cuenca del río Tolomosa es una de las cuatro cuencas que conforman el valle central de Tarija, se encuentra al Sur de la ciudad a aproximadamente a 5 Km de esta.

Sus límites geográficos son:

Tabla N° 3.1
Límites Geográficos

Punto	X	Y
E	322220	7612407
O	293364	7595507
N	314806	7617617
S	296971	7588494

FUENTE: Estación pluviométrica embalse “San Jacinto”.

La cuenca tiene como limitantes al Oeste la Serranía de Sama, y al Noreste la confluencia con el río Guadalquivir.

La Cuenca posee un área igual a 467.32 km² hasta el lugar de desembocadura con el río Guadalquivir, mientras que su extensión alcanza 436.55 km² El río principal es el río Tolomosa, a continuación se muestran sus características más importantes y las de sus afluentes.

Tabla N° 3.2
Características Ríos Principales

Nombre del río	Perímetro (km)	Área (km ²)	Longitud (km)	Pend. media (%)
Tolomosa	98.0	432	45	4,8
Sola	70.0	159	31	6,5
Pinos	40	80	18	5,1
Mena	37,5	65	18	1,2
Molino	43,5	92	22	5,2

FUENTE: Evaluación del método de predicción y de las medidas de control de la sedimentación en el embalse “San Jacinto”. Ing. Alberto Benítez Reinoso.

Para la minimización de transporte de sedimentos, durante el periodo de funcionamiento del embalse “San Jacinto” se ejecutaron diversas obras físicas de retención, entre las cuales podemos nombrar:

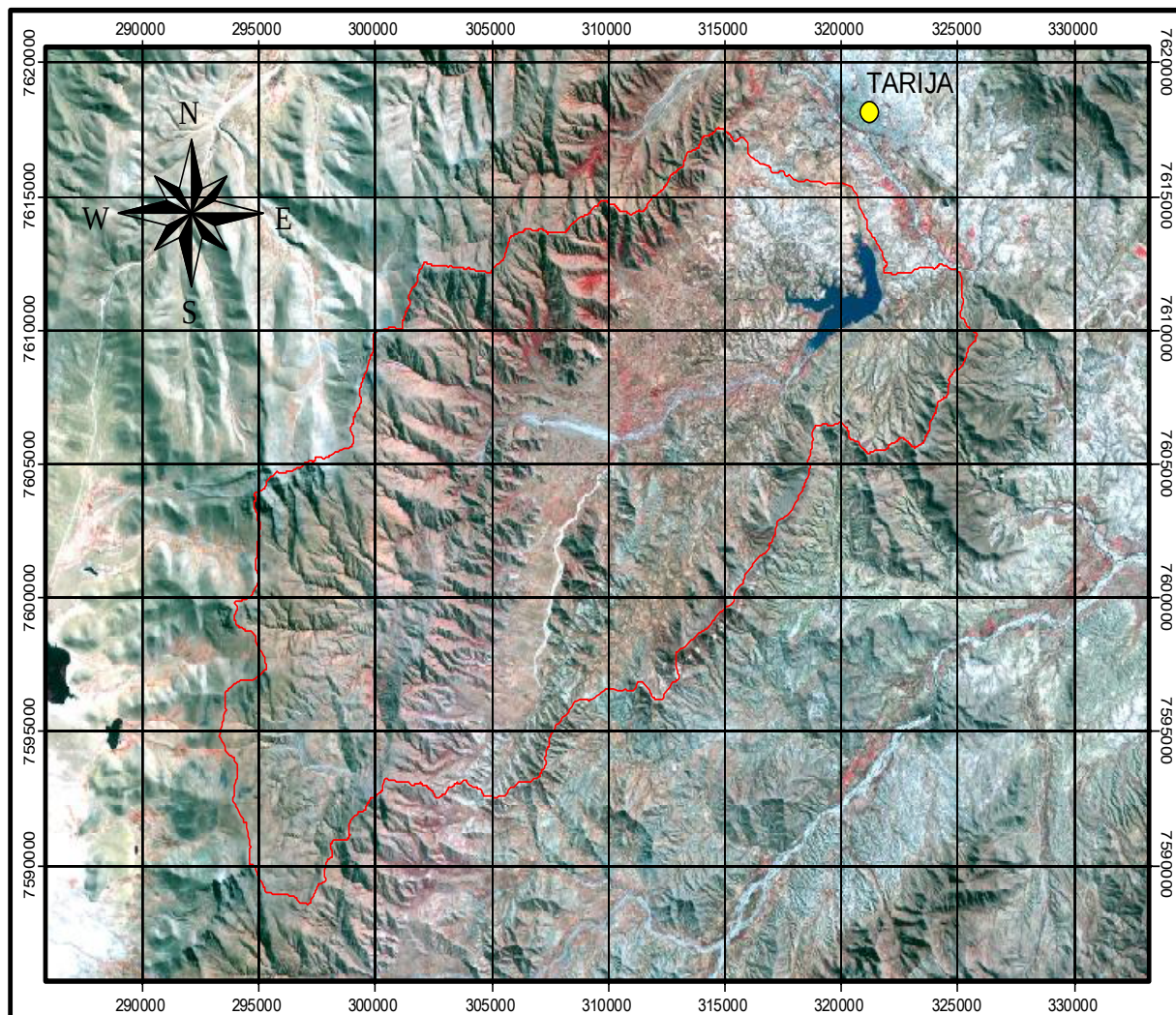
- Pequeños diques de tierra ubicada en los cursos de quebradas y afluentes con producción crítica de sedimentos. La función de estos diques es retener de manera eficiente e inmediata el transporte de sedimentos hacia el embalse.

En la actualidad se ejecutaron 33 pequeños diques, los mismos que se detallan a continuación.

8 diques de sedimentación en la quebrada La Tablada y 13 diques en la quebrada Seca, entre los años 1997 y 1998, 8 diques en el sector Churquis y 4 diques en el sector Pampa Redonda, ambos ubicados en la subcuenca del río Mena, construidos entre los años 2003 y 2004.

- Construcción de cercamientos para la regeneración natural y el posterior manejo manejo silvo pastoril en el área durante el periodo comprendido entre los años 1997 y 2004.

Imagen N° 3.13
Cuenca del Río Tolomosa



4.-RIEGO.

La puesta en marcha del sistema de riego, a fines de la década del noventa, impactó favorablemente en el desarrollo de la agricultura en las comunidades beneficiadas con riego. En los últimos años, se ha verificado un crecimiento sostenible y constante de áreas agrícolas; además de una intensificación de la agricultura, caracterizada por el cultivo de vid y hortalizas.

En cuanto a la infraestructura de la red principal del sistema de riego San Jacinto, fue diseñada y construida para un funcionamiento automático, es decir con un "control desde aguas abajo". Sin embargo, en la actualidad, la operación de la infraestructura es efectuada manualmente; y depende de distribuidores y bombeadores, personal técnico dependiente del “Proyecto Múltiple San Jacinto”, para asegurar una entrega satisfactoria a los usuarios.

El estudio de pre-inversión realizó el diseño para dotar de agua de riego a 3000 hectáreas.

Hasta la fecha, las demandas de riego son atendidas bajo una modalidad de distribución a demanda libre con jornadas regulares de riego de 12 horas, riego diurno. Sin embargo, a medida que se está produciendo la expansión prevista del área bajo riego y una mayor intensificación de la agricultura regada actual, ya se comienzan a evidenciar algunas limitaciones y problemas para continuar con esta modalidad de distribución de agua tan flexible. Adicionalmente, se espera transferir parte de la gestión del componente de riego del sistema a la organización denominada “Asociación de Productores Regantes del Proyecto Múltiple San Jacinto”, la cual se está fortaleciendo para asumir este rol.

Actualmente se cuenta con los siguientes sistemas de riego operados por el “Proyecto Múltiple San Jacinto”.

- Abra Portillo.
- Chañarís.
- La Pintada.
- Morros Blancos.
- Portillo Alto.
- Portillo Bajo.
- Santa Ana Alto.
- Santa Ana Bajo.
- Sunchu Wayco.
- Tablada.
- Temporal.

Es muy importante no olvidar que la tendencia del proyecto en estos últimos años ha sido mantener el precio del metro cúbico del agua en un valor igual a 0.1 Bs.

Para observar y evaluar el comportamiento del uso de agua del embalse San Jacinto para el riego tomaremos en cuenta los siguientes aspectos.

- Demanda de agua para riego.
- Volumen de agua utilizada en riego.

Donde la demanda de agua para riego corresponde al volumen de agua proyectado en el estudio de pre-inversión destinado a satisfacer las necesidades de riego en los diferentes sistemas y el volumen de agua utilizada en riego corresponde a las cantidades reales de agua utilizadas año tras año.

De estos dos parámetros realizaremos el balance comparativo para poder observar el comportamiento y crecimiento de la irrigación del proyecto a lo largo del funcionamiento del embalse.

4.1.-Demanda de Riego.

Según el estudio de pre-inversión para finales de 1990 la infraestructura de irrigación y el aprovechamiento agrícola del Proyecto Múltiple San Jacinto ya debería haber terminado o estar en sus etapas finales, debido a esto ya para este año la demanda de agua para riego llegaría al máximo.

La demanda de agua fue obtenida de la comparación realizada entre el agua utilizada para riego y el déficit hídrico de los cultivos, de todas las parcelas que podrían beneficiarse con la construcción del embalse.

Obteniéndose los siguientes valores:

Tabla N° 4.1
Demanda de agua para riego

MESES	-	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
DEMANDA DE AGUA	Hm³	4,5	3,7	1,6	0,7	1,0	2,8	3,0	2,0	1,1	1,7	2,5	4,6

FUENTE: Estudio de factibilidad del proyecto múltiple San Jacinto. Sofrelec y Consa S.R.L.

Alcanzando el volumen anual un valor de 29.3 Hm³.

Se puede observar que la proyección realizada es mayor en la época seca, debido a que en esta época la demanda de agua para riego es máxima.

Esta demanda proyectada representa alrededor del 15 al 20 % de la demanda de agua para la producción de energía.

Cabe aclarar que los valores expresados en la anterior tabla representan la demanda máxima utilizada cuando todos los sistemas de irrigación lleguen al máximo.

4.2.-Volumen de agua utilizada en riego.

Como no se cuenta con valores de aforo diarios, realizaremos el desglose de la demanda de manera mensual y anual.

Se omitirá el periodo comprendido entre los años de 1989 (año de inicio de operación del embalse) y 1993, ya que en este periodo recién se inicia la etapa de construcción de la aducción principal (1991-1993).

Dentro del periodo comprendido entre el año 1994 y el año 2009 se presenta dos periodos:

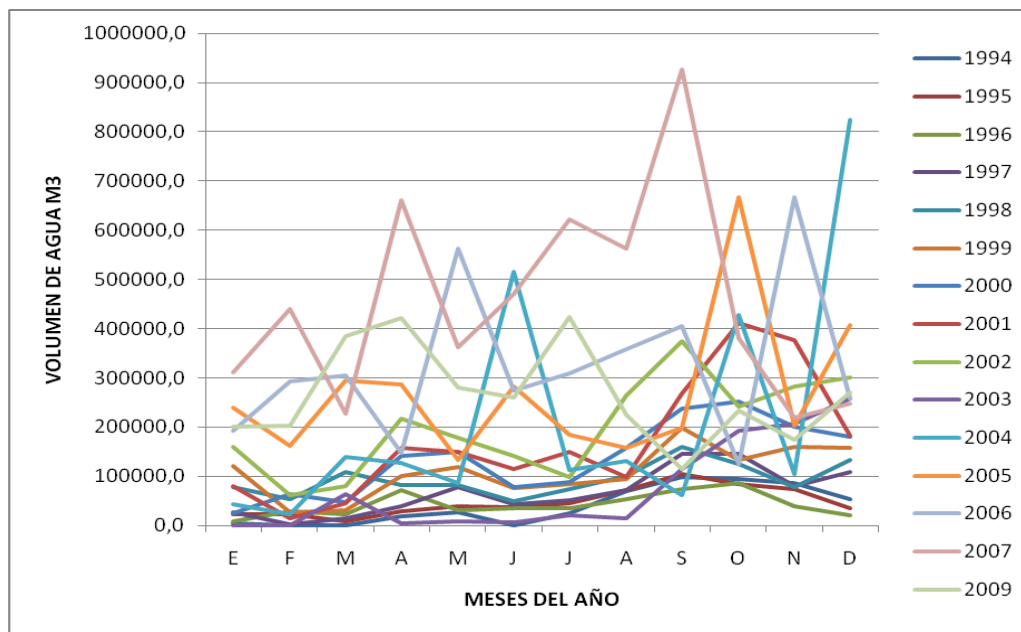
- 1er Periodo (1994-2002).- Periodo donde las cantidades de volumen son registradas de forma manual.
- 2do Periodo (2003-2009).-Periodo en el cual ya se cuenta con registro informático de las cantidades de agua utilizadas en irrigación.

Por lo dicho anteriormente como se puede ver en la tabla de anexos II, a partir del 2003 los valores presentan mayor exactitud.

4.2.1.-Volumen de agua mensual.-

El volumen de agua mensual proporcionado por el embalse para irrigación se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico N° 4.1
Volumen mensual de agua para riego



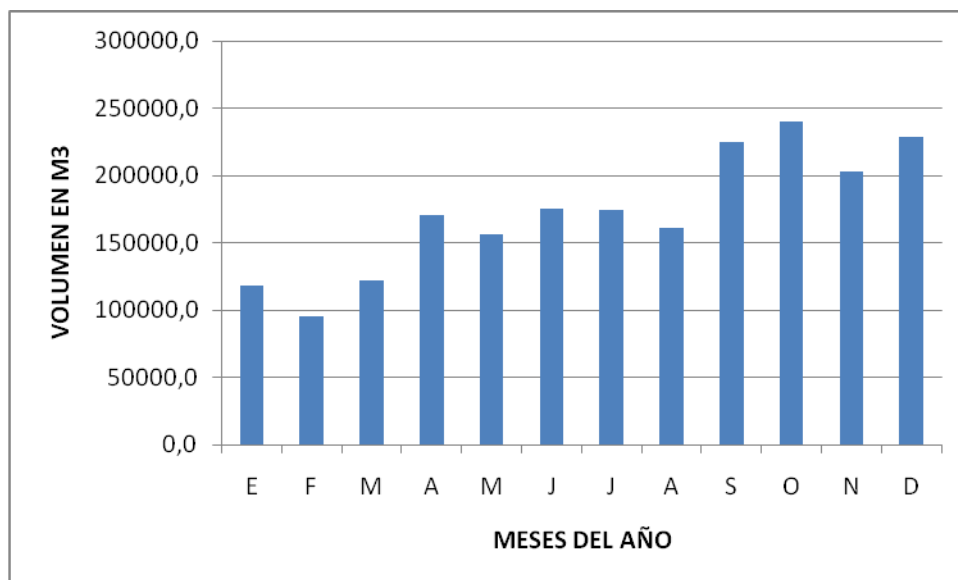
FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar como ya había sido mencionado que las demandas máximas de agua para irrigación ocurren durante la época seca producto de la demanda máxima de agua para riego de los cultivos, aunque es también diferenciable picos de demanda ocurridos durante el periodo de abril a junio.

Además podemos añadir que se presenta un crecimiento considerable de la demanda de irrigación con el transcurso de los años.

A continuación se muestra una gráfica con valores mensuales más detallados:

Gráfico N° 4.2
Volumen mensual de agua para riego



FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 4.2
Volumen mensual de agua para riego

Meses	-	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Volumen Mensual	m³	118369,5	95426,2	122405,2	170727,9	156646,9	175166,9	174824,0	160678,6	225210,2	239956,7	202514,2	229111,7
Volumen Mensual	Hm³	0,12	0,10	0,12	0,17	0,16	0,18	0,17	0,16	0,23	0,24	0,20	0,23

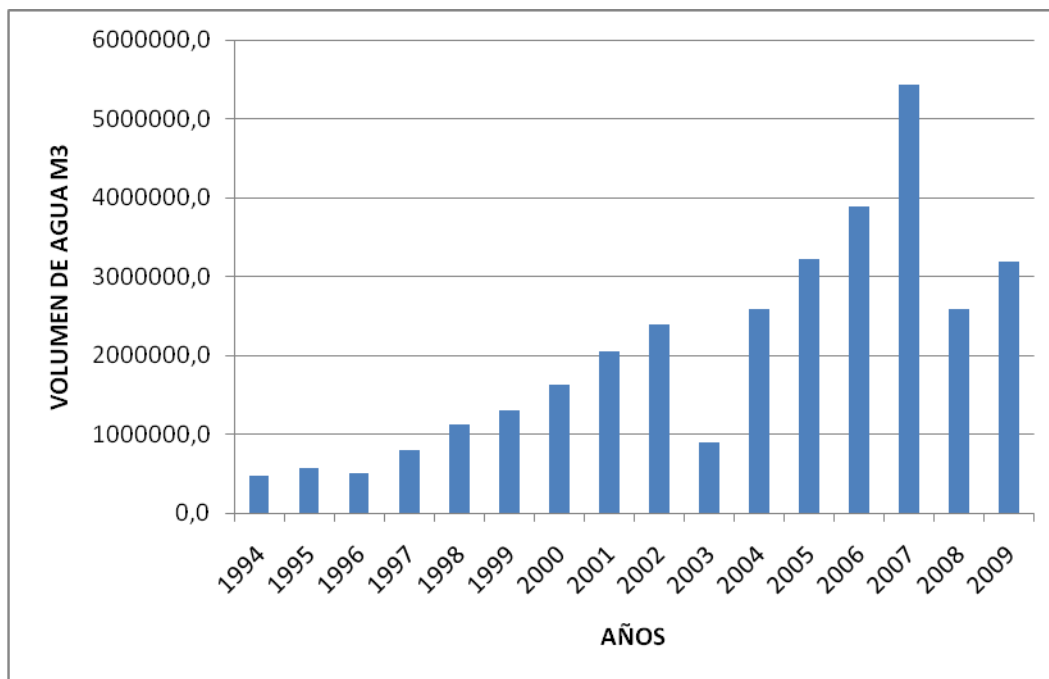
FUENTE: Elaboración propia.

Obteniéndose de la anterior tabla una demanda máxima mensual de 0.24 Hm³ producida en el mes de octubre, una demanda mínima mensual de 0.10 Hm³ producida en el mes de febrero y una demanda media mensual de 0.17 Hm³.

Se puede observar a simple vista y antes de realizar el análisis correspondiente que en ningún mes los valores de volúmenes de agua sobrepasan 1 Hm

4.2.2.-Volumen de agua anual.-

Gráfico N° 4.3
Volumen anual de agua para riego



FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar con mayor claridad en este grafico que la demanda de agua para riego ha ido en ascenso estos últimos años, esto debido al crecimiento y mejoramiento de la infraestructura de irrigación.

Tabla N° 4.3
Volumen anual de agua para riego

Año	Volumen Anual	Volumen Anual
-	m³	Hm³
1994	481000,0	0,48
1995	574000,0	0,57
1996	508000,0	0,51
1997	803000,0	0,80
1998	1123000,0	1,12

Año	Volumen Anual	Volumen Anual
-	m³	Hm³
1999	1300000.0	1.30
2000	1623000.0	1.62
2001	2048000,0	2,05
2002	2399000,0	2,40
2003	891774,4	0,89
2004	2595147,4	2,60
2005	3216722,3	3,22
2006	3896127,2	3,90
2007	5428204,9	5,43
2008	2590134,8	2,59
2009	3190428,35	3,19

FUENTE: Elaboración propia.

El año 2007 se obtuvo el pico máximo de demanda de agua para irrigación alcanzando un valor de 5.43 Hm³ y en el año 1994 se obtuvo el pico mínimo alcanzando un valor de 0.48 Hm³, y una demanda media anual de 2.04 Hm³.

Se presenta un crecimiento anual que fluctúa entre el 15 y 25 %.

Se desconoce los motivos por los cuales el año 2003 presenta una demanda que se encuentra fuera del comportamiento creciente de los otros años.

4.3.-Balance comparativo de volúmenes de irrigación.

Como ya se había hecho mención en su etapa de diseño el Proyecto Múltiple San Jacinto, ha previsto la irrigación de 3000 hectáreas, distribuidas en sectores de riego por bombeo y áreas de riego por gravedad.

Hasta el año 2007, fueron habilitadas 1800 hectáreas, correspondiendo a un 60% del área bajo riego total proyectada. No obstante, debido al gran interés local para desarrollar una agricultura bajo riego, especialmente centrada a la producción de vid, se espera poder alcanzar la meta prevista en el corto plazo.

Para realizar la evaluación del uso del agua en la irrigación estudiaremos los siguientes aspectos

- Balance comparativo.
- Eficiencia de aplicación de irrigación.

Estos dos aspectos nos ayudarán a observar y estudiar la evolución que tuvo la irrigación dentro del proyecto.

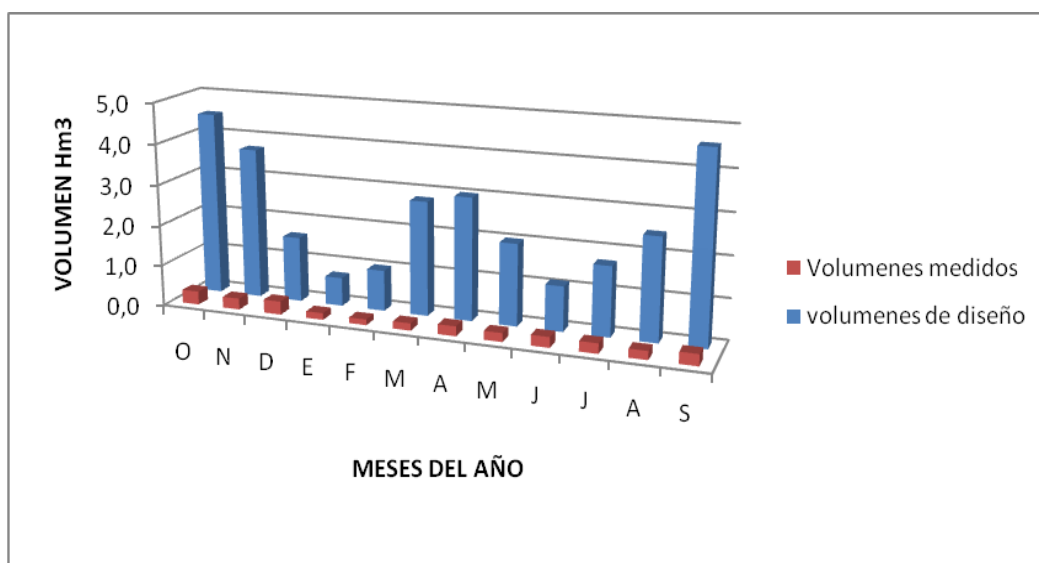
4.3.1.-Balance comparativo.

El balance contempla la comparación de valores volumétricos de agua utilizados en riego entre el estudio realizado y los datos reales medidos mensual y anualmente.

Dicho balance es de mucha importancia ya que gracias a él, tendremos una idea de cómo y cuanto de agua se ha utilizado en irrigación, y si dichas cantidades corresponden a las proyecciones realizadas en el estudio de pre inversión.

A continuación se presenta el balance comparativo.

Gráfico N° 4.4
Balance Comparativo Mensual



FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar que realizado el balance comparativo, a simple vista el uso de agua en irrigación es bajo, con valores que no alcanzan la mitad de la proyección realizada en el estudio de pre inversión.

Para observar de una mejor manera el comportamiento del uso del agua, a continuación se muestra una tabla comparativa de valores con su variabilidad correspondiente.

Tabla N° 4.4
Variabilidad Volumétrica en Irrigación

MESES	-	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
PROYECTO	Hm³	4,50	3,70	1,60	0,70	1,00	2,80	3,00	2,00	1,10	1,70	2,50	4,60
REALES	Hm³	0,33	0,27	0,33	0,16	0,14	0,18	0,24	0,21	0,26	0,25	0,21	0,28
VARIABILIDAD	-	13,83	13,58	4,92	4,29	7,18	15,79	12,55	9,38	4,29	6,85	11,85	16,29

FUENTE: Elaboración propia.

Siendo la variabilidad el número de veces más o menos del volumen de diseño en comparación con el volumen real.

Se puede observar que se presenta una variabilidad máxima producida en el mes de septiembre de 16.29 y una variabilidad mínima en el mes de enero de 4.29, la variabilidad media mensual asciende a 10.07.

Cabe recordar que los volúmenes reales solo corresponden al 60 % de las hectáreas proyectadas.

4.3.2.-Gestión de Riego.

La puesta en marcha de los proyectos y obras de los diversos sistemas de riego que maneja el Proyecto Múltiple San Jacinto es muy importante para el desarrollo de la región, ya que es un proyecto de gran magnitud y envergadura.

Llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos de dicho proyecto en un tiempo adecuado tiene su importancia y conlleva una difícil tarea de manejo y administración.

Un estudio denominado “Plan de Gestión de Riego del Proyecto Múltiple San Jacinto”, realizado en el año 2005 arroja los siguientes valores finales:

Tabla N° 4.5
Influencia del Proyecto Múltiple San Jacinto

DESCRIPCION	AREA (ha)
AREA REGADA	1449
AREA POTENCIALMENTE REGABLE	3922
AREA CULTIVOS A SECANO	65
AREA NO IRRIGABLE	953
TOTAL AREA DE INFLUENCIA PMSJ	6389

FUENTE: Plan de Gestión de Riego del Proyecto Múltiple San Jacinto.

Como se mencionó anteriormente actualmente el proyecto cuenta con un área regada de 1800 hectáreas correspondiente solo al 60 % de la proyección de hectáreas de diseño y se puede observar de la anterior tabla que el Proyecto Múltiple San Jacinto dentro de su esencia, actualmente podría incrementar sus áreas regadas ya que cuenta con un área de influencia elevada donde más de la mitad es área potencialmente regable.

Se puede constatar que ya transcurridos 20 años de funcionamiento del embalse correspondiente al 40 % de su vida útil, solo el 27 % de las hectáreas del total de terreno dentro del área de influencia del proyecto son regadas.

La lenta aplicación de los diferentes sistemas de riego se deben mayormente a la falta de financiamiento para la construcción de las diferentes infraestructuras de irrigación, además de inicio retrasado de la construcción de la aducción principal (1991-1994) y como también la lenta construcción de la red de distribución de riego (inicio 1995 inicio de obras en pequeñas escala, y a partir de 1998 con mayor impulso).

5.-ENERGÍA HIDROELÉCTRICA.

La Central Hidroeléctrica San Jacinto forma parte del Sistema de Tarija, está constituida por dos unidades generadoras, cada una de ellas equipadas con dos turbinas tipo Francis de eje horizontal, con una potencia total de 7.4 MW.

La planta se halla entre los $21^{\circ}35'45''$ de latitud sur y $64^{\circ}43'30''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich a unos siete kilómetros al Sudoeste de la ciudad de Tarija.

El aprovechamiento hidráulico es a través de los aportes del río Tolomosa y Molino que tiene su origen en la Cordillera de Taxara.

La puesta en servicio se inicia el año 1989 formando parte del sistema Central de Tarija.

Datos de diseño de cada turbina:

- Salto $H=51$ m
- Caudal $Q=4.10$ m³/s
- Potencia $P=1864$ KW
- Velocidad $n=500$ r.p.m.

Constituida por Cuatro Turbinas Francis Espirales de eje horizontal.

Para el turbinado el agua se suministra desde la Represa a través de la obra de Toma, galería de presión y la tubería forzada.

Se divide en dos unidades:

Unidad N°1

- Turbina I (A): N° de Fabrica 17859 (año de construcción 1985)
- Turbina II (B): N° de Fabrica 17860 (año de construcción 1985)

Unidad N°2

- Turbina III (A): N° de Fabrica 17861 (año de construcción 1985)
- Turbina IV (B): N° de Fabrica 17862 (año de construcción 1985)

Las dos unidades compuestas por dos turbinas, funcionan independientemente en función de las necesidades de carga de la ciudad de Tarija.

Las mediciones que se realizan en la Central Hidroeléctrica San Jacinto, consisten de la energía generada y el intervalo de tiempo durante el cual estuvieron activos los generadores.

Existen también lecturas de las temperaturas que alcanzan los componentes que permiten el giro de las turbinas. Las mediciones son registradas de una manera general, como un dato al día de cada una de las variables observadas.

Actualmente la central hidroeléctrica se encuentra supervisada por un equipo técnico especializado que realiza la operación, control y mantenimiento diario, mensual y anual a las turbinas, tuberías, accesorios y generadores.

Para realizar el análisis del volumen del agua utilizado en la generación de energía hidroeléctrica tomaremos en cuenta los siguientes aspectos:

- Demanda de Energía Eléctrica.
- Energía producida por la central hidroeléctrica “San Jacinto”.

La demanda de agua corresponde al volumen de agua proyectado en el estudio de pre-inversión del proyecto utilizado para la generación de energía hidroeléctrica para la ciudad de Tarija, y la energía producida corresponde a datos reales de energía producida por las turbinas durante la operación.

5.1-Demanda de energía eléctrica.

La proyección de la demanda de energía eléctrica se realizó hasta el año 1990, debido a que en el estudio de pre-inversión realizado se esperaba que para este año todo el aprovechamiento agrícola estuviera acabado y la demanda de energía llegaría al máximo.

En efecto para fechas posteriores se preveía la realización de la conexión de la distribución de energía de Tarija al sistema interconectado nacional.

La energía producida por la central “San Jacinto” se calculó por medio de un programa de explotación ficticia de la presa y de la central. Los aspectos tomados en cuenta para el cálculo de la producción de energía fueron los siguientes:

- Consumo doméstico.- Constituido por el sector doméstico de la ciudad de Tarija y alrededores.
- Consumo no industrial.-Donde se incluyen los consumos comerciales. Estatales y alumbrado público.
- Consumo industrial.- Constituido por la industria existente y los nuevos proyectos industriales.
- Irrigación.- Consumo de energía de los bombeos previstos para el proyecto de riego a partir de 1990.

Debido que el objetivo principal del proyecto es el riego, el resultado condujo a satisfacer la totalidad de la demanda cuando está se produjera, conduciendo a importantes déficits para la producción al final de la estación seca y a una energía garantizada mediocre.

Obteniéndose para el año 1990 la siguiente demanda de energía:

Tabla N° 5.1
Demanda de Energía Eléctrica

		1982	1985	1990
Demanda de Tarija	GW/h	16,7	22,1	35,4
Irrigación	GW/h	0	1,82	4,3
Total	GW/h	16,7	23,92	39,7

FUENTE: Estudio de factibilidad del proyecto múltiple San Jacinto. Sofrelec y Consa S.R.L.

La descomposición mensual de energía se proporciona a continuación:

Tabla N° 5.2
Demanda de Energía Eléctrica

	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
GW/h	3,78	3,51	3,52	2,62	3,24	3,04	3,21	3,14	3,1	3,52	3,29	3,67
%	9,52	8,84	8,87	6,60	8,16	7,66	8,09	7,91	7,81	8,87	8,29	9,24

FUENTE: Estudio de factibilidad del proyecto múltiple San Jacinto. Sofrelec y Consa S.R.L.

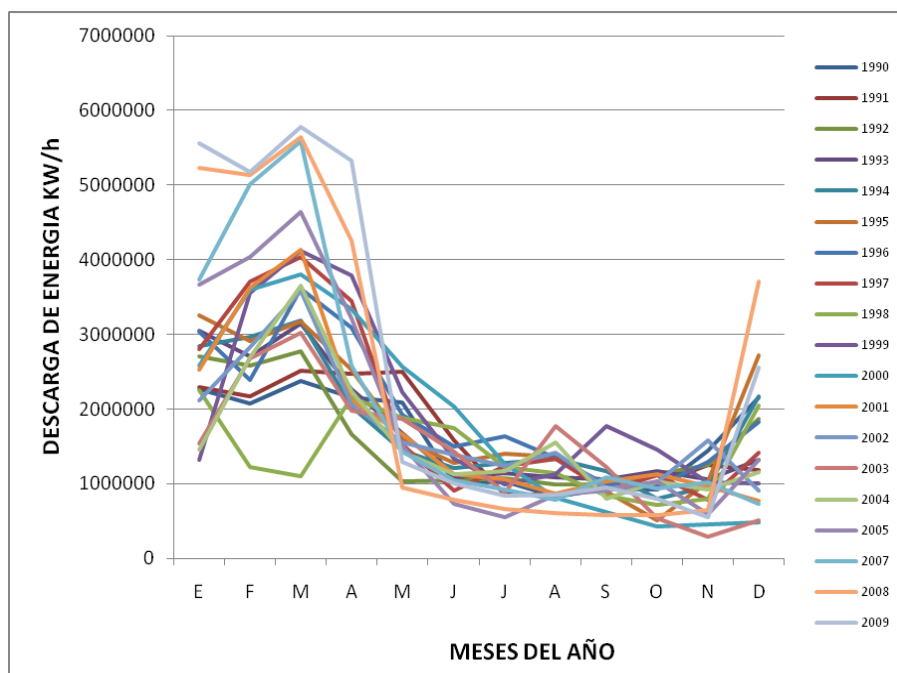
Los valores porcentuales corresponden a la cantidad de energía expresada en GW/h utilizada en cada mes del año del total de la energía proyectada para el año 1990.

5.2.- Energía producida por la central hidroeléctrica “San Jacinto”.

5.2.1.- Generación eléctrica mensual.

La energía mensual producida por las dos unidades de turbinas que componen la central hidroeléctrica se presenta a continuación:

Gráfico N° 5.1
Descarga de Energía Eléctrica (KW/h)



FUENTE: Elaboración Propia.

Como se puede observar se ha despreciado el año 1989 y el año 2006 ya que éstos no presentan mediciones completas a lo largo del año, debido a en el año 1989 la operación de la central empezó en el mes de abril y en el año 2006 la descarga generada solo se dio en los cuatro primeros meses del año. La anterior grafica permite observar a primera vista que como ya se habia mencionado, el diseño contemplaba que la descarga de energía se presentaria en mayor nivel en la epoca humeda y se presentaría un decremento en la epoca seca para satisfacer el volumen de agua solicitada para riego.

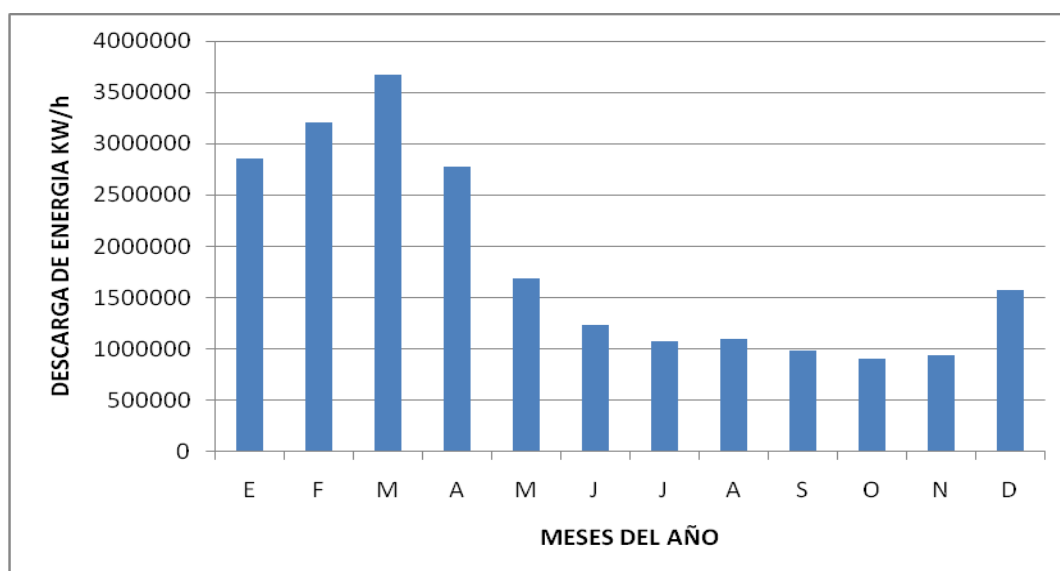
Se puede observar que la tendencia de aprovechar las aguas obtenidas en las crecidas es constante año a año, tratando asi de evitar sean expulsadas por el vertedero de excedencias, desperdiciando asi agua que podría generar energía y disminuir la generacion de energia producida por la central térmica.

El patron ciclico de la operación de las turbinas para el uso del agua del embalse se muestra claramente año tras año, como tambien se muestra un aumento de descarga en los últimos años.

Para analizar mejor la descarga mensual de energía producida por la central procederemos a promediar los valores de los diferentes años.

Gráfico N° 5.2

Descarga Mensual de Energía Eléctrica



FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla N° 5.3

Descarga Mensual de Energía Eléctrica

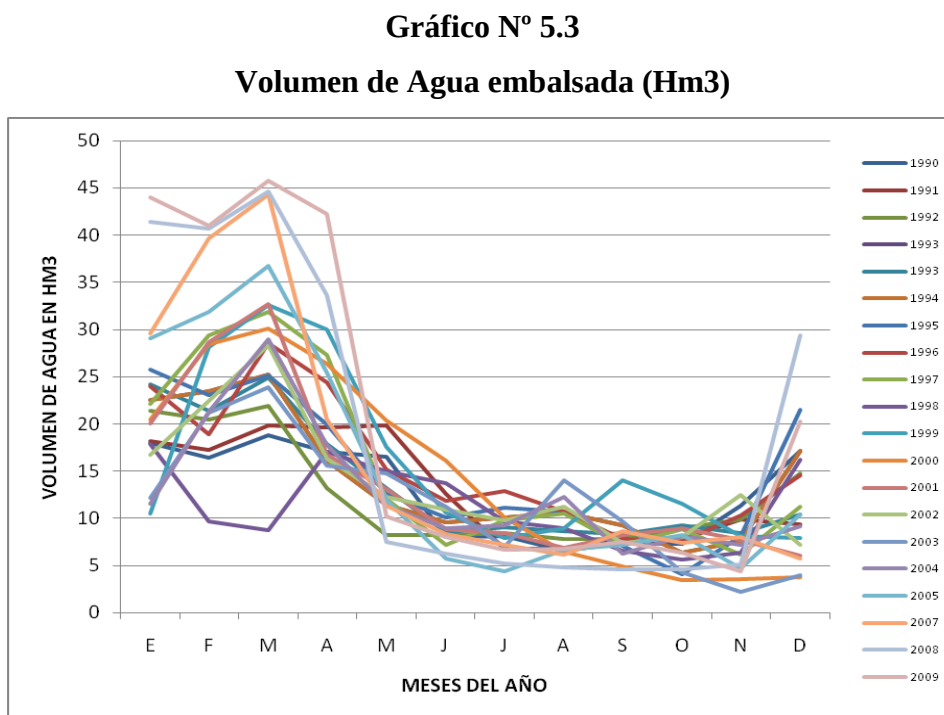
MESES	-	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DEMANDA MENSUAL	KW/h	2855092,0	3212440,1	3677447,1	2771896,3	1690725,0	1228045,8	1076093,4	1099651,1	984625,5	908333,7	940762,7	1570561,9

FUENTE: Elaboración Propia.

Se obtuvo una demanda máxima 3677447,1 KW/h producida en el mes de marzo, una demanda mínima de 908333,7 KW/h producida en el mes octubre y una demanda media mensual de 1834639,5 KW/h.

Como se puede deducir del estudio de la demanda de energía se puede observar que en los meses de época húmeda el tiempo de operación de la central es mayor.

Para un posterior análisis de los volúmenes mensuales de agua utilizados por la central para la generación de energía, se muestra a continuación la siguiente gráfica:

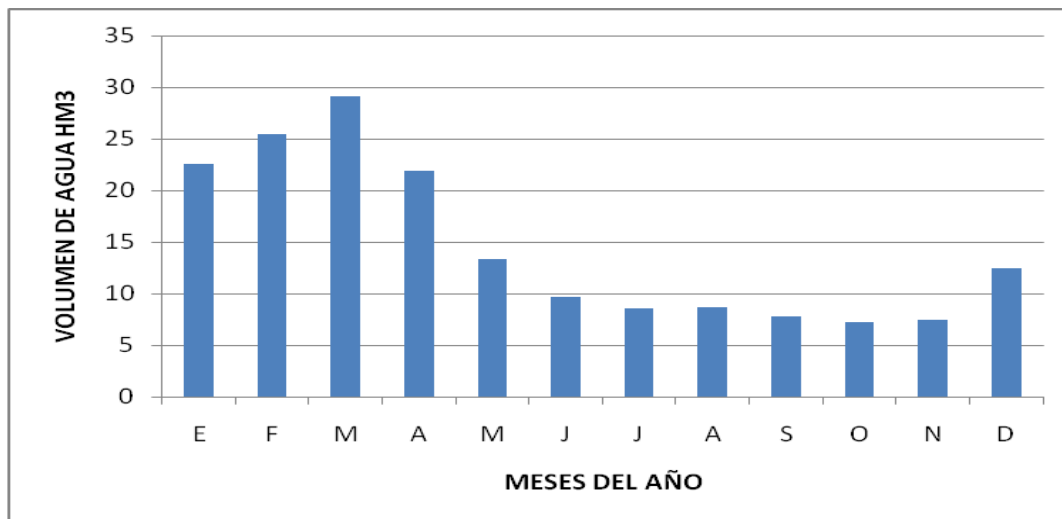


FUENTE: Elaboración Propia.

Debido a que la descarga de energía se produce por el volumen de agua del embalse utilizado por las turbinas, el comportamiento de dicho volumen a lo largo del año será similar al comportamiento cíclico de la descarga de energía descrito anteriormente.

A continuación también se muestra el volumen mensual de agua embalsada utilizada para la generación de energía hidroeléctrica.

Gráfico N° 5.4
Volumen mensual de Agua embalsada (Hm³)



FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla N° 5.4
Descarga Mensual de Energía Eléctrica

MESES	-	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DEMANDA MENSUAL	Hm ³	22,61	25,44	29,12	21,95	13,39	9,72	8,52	8,71	7,80	7,19	7,45	12,44

FUENTE: Elaboración Propia.

Obteniéndose una demanda máxima de agua de 29.12 Hm³ producida en el mes de marzo, una mínima de 7.19 Hm³ producida en el mes de octubre y una demanda media mensual de 14.53 Hm³.

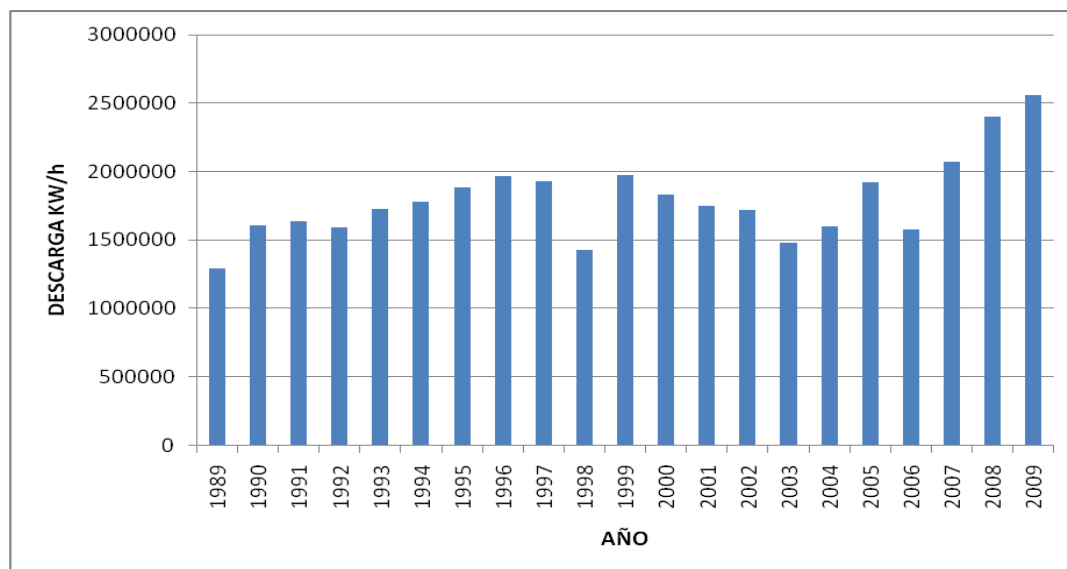
Como se dijo anteriormente se omitió a los años 1989 y 2006 por presentar los datos anuales incompletos.

5.2.2.- Generación eléctrica anual.

La descarga de energía anual de la central hidroeléctrica se muestra a continuación:

Gráfico N° 5.5

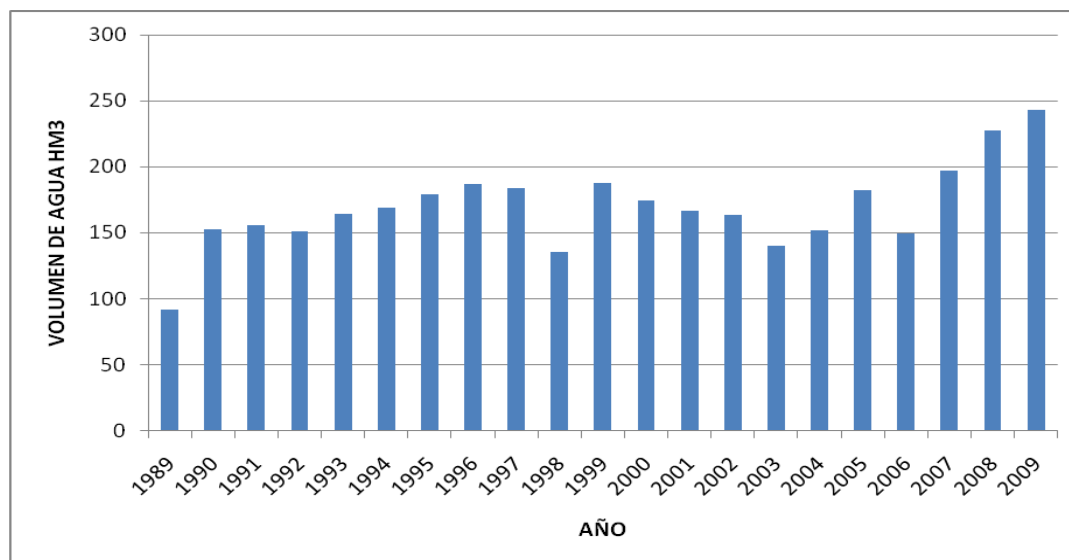
Descarga Anual de Energía.



FUENTE: Elaboración Propia.

Gráfico N° 5.6

Volumen Anual de Agua Embalsada.



FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla N° 5.5
Descarga Mensual de Energía Eléctrica y Volumen

Año	Descarga Anual	Volumen Anual
-	KW/h	Hm³
1989	2193129	91,95
1990	2158827,2	152,65
1991	1180359	155,72
1992	1867908,6	151,24
1993	1317792,2	164,24
1994	2164076,4	169,31
1995	2716869,6	179,23
1996	1831869	186,73
1997	1416274	183,54
1998	2050358,4	135,41
1999	1004524,2	187,75
2000	480664,8	174,10
2001	770331,6	166,28
2002	911465	163,17
2003	503447,4	140,24
2004	1154844	152,06
2005	1314802,8	182,45
2007	731181,6	196,98
2008	3713434,2	227,84
2009	2551645,8	243,15

FUENTE: Elaboración Propia.

Se puede ver que tanto la descarga como el volumen de agua utilizado por la central presentan un comportamiento casi uniforme a lo largo de los años, aunque en los últimos tres años las cantidades presentan un alza considerado.

En el año 2009 se presenta la descarga máxima con un valor de 2551645.8 KW/h producido por un volumen de 243.15 Hm³ anuales.

En el año 1989 se presenta la descarga mínima con un valor de 2193129 KW/h producido por un volumen de 91.95 Hm³ anuales.

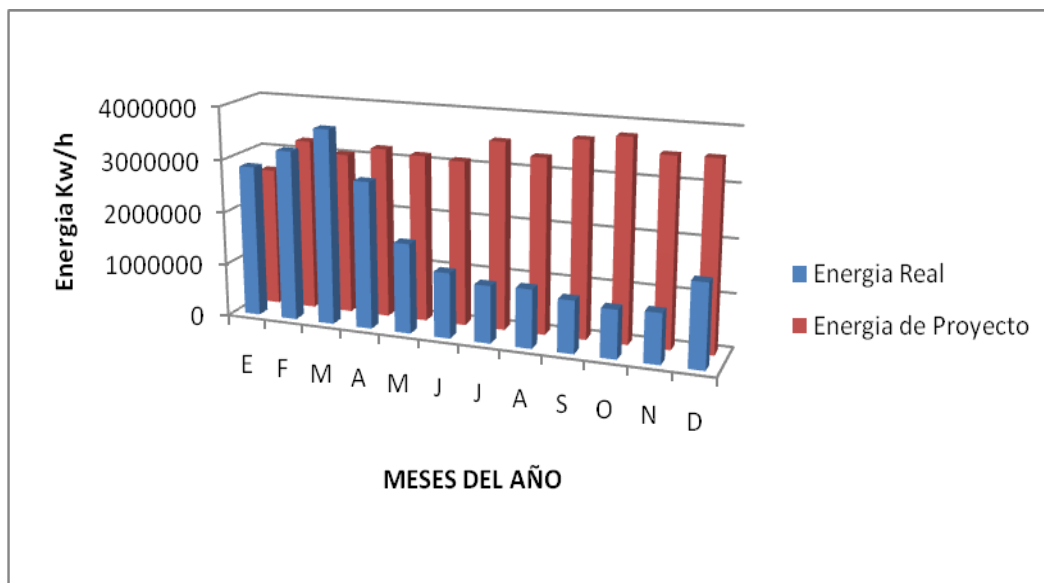
5.3.-Balance comparativo de generación de energía.

De la misma manera que la irrigación realizaremos el balance de generación de energía eléctrica.

Ya que el estudio de pre-inversión contempla como unidad de generación eléctrica al Kw/h, será la misma unidad la utilizada para la evaluación.

A continuación se presenta el gráfico comparativo de balance de generación de energía.

Gráfico N° 5.7
Balance Comparativo Mensual



FUENTE: Elaboración propia.

De la misma manera que el balance comparativo de irrigación, en el balance de comparativo de producción de energía los valores de productividad de energía por parte de la central generalmente no alcanzan los valores de diseño.

Para observar de una mejor manera el comportamiento de la generación de energía, a continuación se muestra una tabla comparativa de valores con su variabilidad correspondiente.

Tabla N° 5.6
Variabilidad de Generación Eléctrica Kw/h

MESES	REALES	DISEÑO	VARIABILIDAD
-	KW/h	KW/h	-
E	2855091,98	2620000	0,92
F	3212440,07	3240000	1,01
M	3677447,13	3040000	0,83
A	2771896,25	3210000	1,16
M	1690725,04	3140000	1,86
J	1228045,80	3100000	2,52
J	1076093,38	3520000	3,27
A	1099651,14	3290000	2,99
S	984625,52	3670000	3,73
O	908333,67	3780000	4,16
N	940762,67	3510000	3,73
D	1570561,88	3520000	2,24

FUENTE: Elaboración propia.

Se obtuvo una variabilidad máxima de 4.16 en el mes de octubre y una variabilidad mínima de 0.83 en el mes de marzo, siendo el promedio de variabilidad mensual de 2.37.

En este caso en los meses de demanda máxima (época húmeda) se mantiene la variabilidad alrededor de 1, y en los meses de demanda mínima (época ceca) la variabilidad incrementa los valores.

6.-AGUA POTABLE.

Aunque no es un fin del proyecto, el embalse “San Jacinto”, durante algunos años abasteció de agua a la ciudad de Tarija, ha pedido de Cosaalt.

Este abastecimiento se lo realizó a través de un sistema de tuberías, una planta de tratamiento y una estación de bombeo.

Se tiene registrado dotaciones realizadas por parte del embalse a partir del año 1998 hasta el año 2003, siendo el periodo utilizado el periodo de época seca, debido a que durante este periodo la ciudad de Tarija presenta demandas máximas las cuales Cosaalt tiene dificultades por atender.

Debido a que en el estudio de pre-inversión no se realizó una proyección de uso de agua embalsada para agua potable, no realizaremos ninguna comparación entre el proyecto y la actualidad como lo estuvimos haciendo, simplemente nos limitaremos a indicar el comportamiento de la dotación de agua a través de los años.

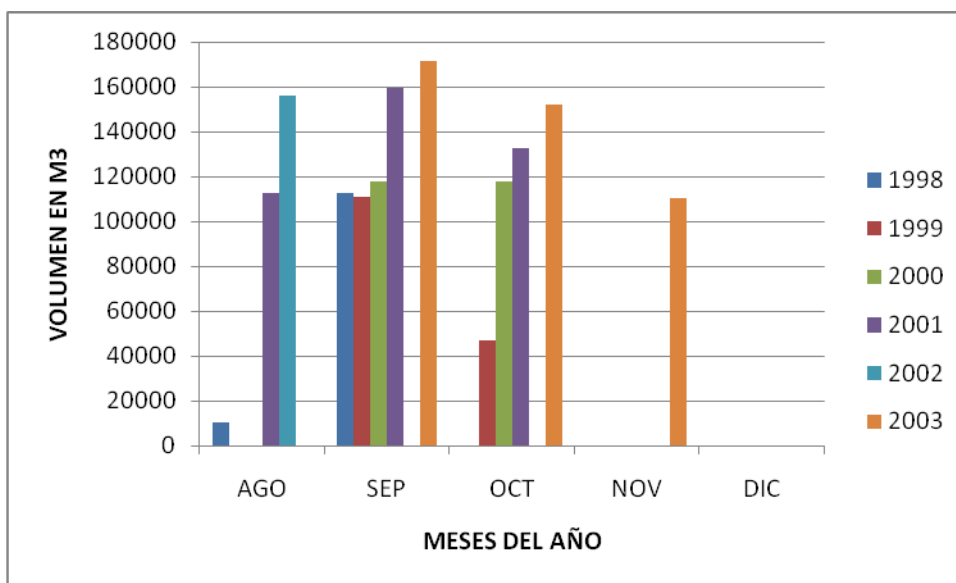
Sin embargo utilizaremos el volumen de agua embalsada utilizada para agua potable en los capítulos posteriores.

6.1-Dotacion de agua potable

6.1.1-Dotacion mensual.

La dotación de agua mensual realizada por el embalse “San Jacinto” a Cosaalt es la siguiente:

Gráfico N° 6.1
Dotación Mensual



FUENTE: Elaboración Propia.

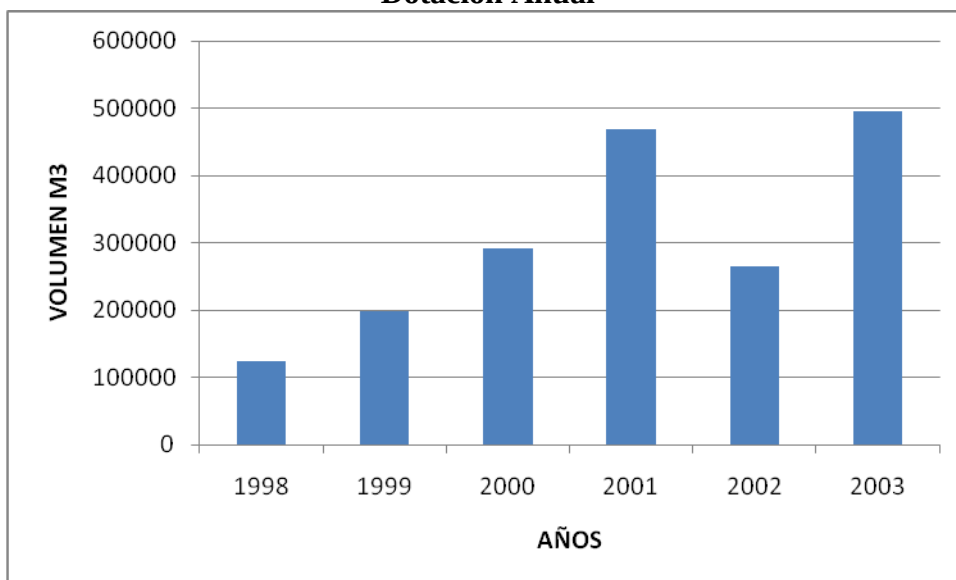
Se puede observar que la dotación de agua potable no es constante ni tampoco presenta algún comportamiento determinado.

Aunque como ya se había mencionado se puede observar en la gráfica que los picos más altos se encuentran en el mes de agosto septiembre y octubre, siendo éstos los meses de época seca más notorios.

6.1.2.-Dotación anual.

La dotación de agua anual se representa en el siguiente gráfico:

Gráfico N° 6.2
Dotación Anual



FUENTE: Elaboración Propia.

Igualmente la dotación anual no presenta ningún comportamiento singular entre año y año, lo que nos puede indicar que el agua del embalse destinada para agua potable ha sido dotada ha pedido de Cosaalt de forma variable en función de sus necesidades de abastecimiento.

Sin embargo la gráfica claramente muestra el incremento de dotación realizada por el embalse en el transcurso de los años.

7.- SEDIMENTOS.

Cuando se construye una presa en el lecho del río, esta actúa como una trampa de sedimentos, y una parte de los sólidos transportados por la corriente queda retenida en el embalse, disminuyendo así el volumen de almacenamiento o volumen útil. Este riesgo debe ser evaluado.

Es inevitable que no ocurra sedimentación aguas arriba de la presa debido a que es un fenómeno netamente de Hidráulica Fluvial. Su origen es muy sencillo: al elevarse artificialmente los tirantes del río y aumentar considerablemente la sección transversal del río, la velocidad de la corriente disminuye, y aun en avenidas puede tener valores muy pequeños, lo que favorece a la sedimentación.

Mientras la sedimentación ocurra en los lugares previstos y al ritmo medio esperado, esta será un fenómeno netamente de Hidráulica Fluvial.

Pero cuando la sedimentación es muy intensa, y en algunos casos excede los valores previsto se presenta el fenómeno de colmatación acelerada, provocando problemas que afecten la razón de ser del proyecto.

Debido a esto, se pretende realizar una evaluación de la sedimentación en el embalse San Jacinto después de 20 años desde el inicio de operación (1989-2009), con los datos acumulados en este periodo de tiempo y los valores de sedimentos estimados en el estudio de pre-inversión del proyecto.

Dentro de lo que corresponde el análisis se tomarán en cuenta dos aspectos:

- Determinación del transporte de sólidos en el estudio de pre-inversión.
- Levantamientos batimétricos realizados.

Se toma en cuenta estos dos aspectos debido a que los levantamientos batimétricos realizados a lo largo de la operación del embalse, desde su inicio hasta la fecha, nos permite observar el comportamiento del transporte de sedimentos dentro de este.

7.1.- Determinación del transporte de sólidos en el estudio de factibilidad.

El estudio final de sedimentos realizado para el proyecto San Jacinto se concluyó en la etapa de pre-inversión de este, el mismo que fue terminado en el año 1979.

Para la época se disponía de datos de transporte de sedimentos del río Tolomosa, a partir del mes de febrero del año 1975 hasta junio de 1978, con ciertas interrupciones.

No disponiendo del dato de densidad, se adoptó el valor de 1.25 t/m^3 para el peso específico del sedimento en el embalse, con lo que se obtuvo un volumen de sedimentos medios de $98423.78 \text{ m}^3/\text{año}$ o sea $226.26 \text{ m}^3 \text{ km}^2/\text{año}$, siendo este un volumen igual al 0.037% del volumen medio de agua ($268 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$), dato estimados en la hidrología realizada en el estudio del proyecto.

Debido a que en la realidad los sólidos sedimentados no presentan una distribución uniforme en el fondo del embalse, el volumen previsto para los sedimentos (Volumen Muerto) no corresponde a un valor que tenga significado físico en la curva de capacidad del embalse.

Pero para la determinación de la altura en la presa correspondiente al volumen muerto, según las recomendaciones del Banco Mundial, se tomó en cuenta la hipótesis de que durante 50 años (Periodo de diseño del Proyecto San Jacinto) los sedimentos se depositan horizontalmente en la parte más baja del embalse como muestra el esquema a continuación:

Para aproximar los valores de sedimentos a un término estadístico de otras cuencas del país y del exterior; se asumió un porcentaje mayor de volumen de sedimentos del 0.1% del volumen de aporte medio anual; además que este valor incrementado cubría ampliamente la incertidumbre existente por la poca información disponible.

El porcentaje anterior arroja un valor de volumen de sedimentos de $268700 \text{ m}^3/\text{año}$ que generan en la grafica de capacidad del embalse un valor de 13.5 hm^3 de volumen muerto

a una cota correspondiente de 1871.70 m.s.n.m. fue el valor utilizado en el diseño y ejecución de la obra.

7.2.-Levantamientos batimétricos realizados.

El levantamiento batimétrico o hidrográfico consiste en la obtención de las coordenadas (x, y, z) de un número suficiente de puntos del vaso del embalse, de forma que mediante el posterior tratamiento de esos datos, se puedan obtener de la manera más real posible las curvas de nivel que definen el terreno situado bajo la lámina de agua.

En el año 1989 el Servicio Nacional de Hidrografía Naval, realiza por primera vez un levantamiento hidrográfico en el embalse de “San Jacinto”, trabajo denominado como “San Jacinto I”, con el objeto de cuantificar los volúmenes embalsados y saber los caudales de ingreso al embalse.

En el año 1995 se realiza por segunda vez un levantamiento hidrográfico, el mismo que tuvo por objeto el control de la sedimentación depositada en el embalse, además de un control de sus aportantes. Trabajo denominado “San Jacinto II”.

En la gestión 2004, la Empresa CaryGlobal realiza un tercer levantamiento hidrográfico, que nos dio importante información de la situación del lago.

En la actualidad la Gobernación del Departamento de Tarija, a través del Proyecto Múltiple San Jacinto, ante la necesidad de contar con datos actualizados del Lago San Jacinto en lo que se refiere a su Hidrografía, ha decidido impulsar un nuevo estudio Batimétrico del lago.

Imagen N° 7.1**Brigada Topográfica en Levantamiento Batimétrico****FUENTE: Batimetría 1989**

Los levantamientos hidrográficos o batimétricos descritos anteriormente arrojaron los siguientes valores descritos a continuación:

Tabla N° 7.1**Levantamientos Batimétricos**

Batimetría (Año)	Volumen almacenado (m³) (1884 m.s.n.m)	Volumen de sedimentación (m³)
Noviembre, 1989	58003421,3	
		4121721,9
Junio, 1995	53881699,4	
		4160937,9
Agosto, 2004	49720761,5	

FUENTE: Evaluación del método de predicción y de las medidas de control de la sedimentación en el embalse “San Jacinto”. Ing. Alberto Benitez Reinoso.

7.3.-Evaluación del transporte de sólidos.

Para realizar el análisis del transporte de sedimentos en el embalse San Jacinto se tomarán en cuenta los valores obtenidos en los levantamientos hidrográficos o batimetrías.

Debido a que sólo se realizaron tres estudios, el análisis de estos datos se realizará en dos etapas.

La primera etapa constará del periodo comprendido desde el inicio de operabilidad de la presa y primer estudio batimétrico hasta la realización del segundo estudio batimétrico (1989-1995), y la segunda etapa constará desde el segundo estudio hasta la realización del tercer y último estudio batimétrico (1995-2004).

- Periodo 1989-1995

Como pudimos observar en la tabla N° 7.1 el valor de transporte sólido sedimentado dentro del embalse hasta el año 1995 asciende a 4121721,90 m³, lo cual significa que dentro de los casi seis primeros años de operación del embalse se depositaron 738659,84 m³ de sedimentos anuales.

- Periodo 1995-2004

En la segunda etapa el valor de transporte de sólido sedimentado en el embalse desde el año 1995 hasta el año 2004 asciende a un valor de 4160937,9 m³, lo cual significa que dentro de los siguientes 10 años se depositaron 409541.1 m³ de sedimentos anuales.

Tabla N° 7.2
Sedimentación Específica

Periodo	Sedimentación Específica m³/km²/año
Diseño	618,48
1989-1995	1692,0
1995-2004	938,13

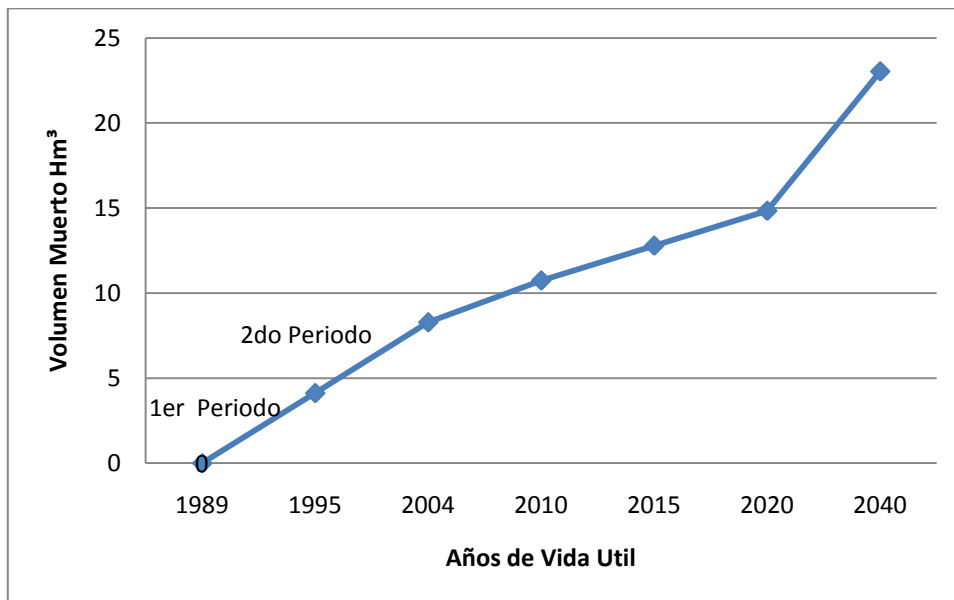
FUENTE: Elaboración Propia

Ahora si se realiza una comparación de los valores obtenidos anteriormente con el valor de sedimentos obtenido en el estudio (268700 m³/año), podemos observar que en la primer y segunda etapa existe un incremento del 270 y 152 % respectivamente.

Con los anteriores valores de sedimentación existente en el embalse se pone en duda el periodo de vida útil del proyecto.

Si suponemos constantes los valores de sedimentos depositados en el segundo periodo del proyecto y los proyectamos a lo largo de la vida útil del proyecto obtenemos los siguientes valores posibles estimados de sedimentos depositados en el periodo de vida útil del proyecto.

Gráfico N° 7.1
Proyección de Sedimentos del Embalse “San Jacinto”



FUENTE: Elaboración Propia

Tabla N° 7.3
Proyección de Sedimentos del Embalse “San Jacinto”

Año	Volumen de Sedimento
-	Hm³
1989	0
1995	4,1217219
2004	8,2826598
2010	10,7399064
2015	12,7876119
2017	13,5
2020	14,8353174
2040	23,0261394

FUENTE: Elaboración Propia

Como se mencionó anteriormente si mantenemos constante los valores de los sólidos sedimentados en el embalse, los 13.5 Hm³ de volumen de sedimentos adoptados para el diseño del volumen muerto se efectuaría la colmatación el año 2017, llegando a cumplir 28 años desde el inicio de funcionamiento de la presa.

Estos 28 años corresponden al 56 % del periodo de vida útil del embalse, lo que corresponde una reducción de 22 años del valor inicial proyectado.

8.-REGULACIÓN.

Las presas de almacenamiento tienen la función principal de mantener el depósito lleno para asegurar la disponibilidad del recurso en tiempos de sequía. Para asegurar que esto ocurrirá, es necesario plantear un adecuado diseño hidrológico de una presa de almacenamiento.

La regulación de presas consiste en realizar el balance hídrico entre los volúmenes de aguas que entran gracias al aporte del río y los volúmenes de aguas que salen debido a las demandas reales del proyecto.

La regulación se encuentra íntimamente ligada al volumen útil del embalse, gracias a que este volumen es el encargado de satisfacer las demandas de proyecto.

Para la realización de un diseño hidrológico del volumen útil de una presa de almacenamiento, es necesario que se cuente con una serie de registros históricos hidrometeorológicos del sitio en cuestión. Aunque generalmente éstos son insuficientes para el diseño de proyectos hidráulicos, sólo sirven únicamente para ver el proyecto desde una sola perspectiva.

Es por ello que a partir de los registros históricos, se crean los registros sintéticos, que son datos que permitirán mirar el proyecto bajo varias perspectivas o bajo diferentes escenarios. No se debe descartar el hecho de la presencia de las pérdidas y volúmenes sobrantes, que dicho depósito de almacenamiento pueda tener, es por ello que la simulación hidrológica es una herramienta útil cuando se tienen este tipo de situaciones.

Una buena operación anual del embalse requiere el uso de toda la altura de la presa que corresponde al volumen útil, ya que al no regularse todo el volumen la altura sobrante corresponderá a un volumen de agua desperdiciada.

Entonces tomando en cuenta lo anteriormente mencionado y aplicándolo al embalse “San Jacinto” tenemos las siguientes alturas límites que corresponden al volumen útil regulable del embalse.

- Cota 1871.7 m.s.n.m.- Es la cota que representa la parte inferior del volumen útil y que limita el volumen muerto, asegurando la vida útil del proyecto.
- Cota 1882.5 m.s.n.m.- Es la cota que representa la parte superior del volumen útil y que también es la cota de inicio de vertedero de excedencias.

Las anteriores cotas delimitan el volumen útil que alcanza un valor de 41.03 Hm³ antes de la implementación de las presas inflables y después de la implementación de las presas inflables un volumen útil de 49.44 Hm³, siendo este volumen destinado a cubrir las demandas de generación de energía eléctrica e irrigación como ya antes había sido mencionada.

Para poder estudiar de una manera objetiva la regulación del embalse procederemos a analizar los siguientes aspectos.

- Variables hídricas que intervienen en la regulación.
- Ciclo de regulación.
- Regulación mensual.
- Regulación anual.
- Balance de Regulación.
- Volúmenes no regulados.
- Eficiencia de Regulación.

8.1.-Variables hídricas que intervienen en la regulación.

Para realizar un balance hídrico es necesario tomar en cuenta todas las variables posibles que intervienen en la regulación.

Al decir variables hacemos mención a los volúmenes de agua que intervienen, tanto los volúmenes de agua que ingresan al embalse como los volúmenes de salida del mismo, dentro de los cuales citaremos:

Volúmenes de ingreso:

- Caudal del río aportante.

Volúmenes de salida:

- Demanda real de agua para riego.
- Demanda real de agua para generación de energía eléctrica.
- Otras demandas.
- Infiltración del embalse.
- Evaporación de la superficie libre del embalse.

Tomaremos en cuenta las alturas medidas en la regla limnimétrica transformadas en volúmenes y así expresar con valores reales los volúmenes de ingreso al embalse.

En el caso de los volúmenes de salida no tendríamos problemas debido a que las demandas originadas para riego, energía eléctrica y otros se encuentran medidas y las estimaciones de infiltración y evaporación se encuentran en los capítulos anteriores.

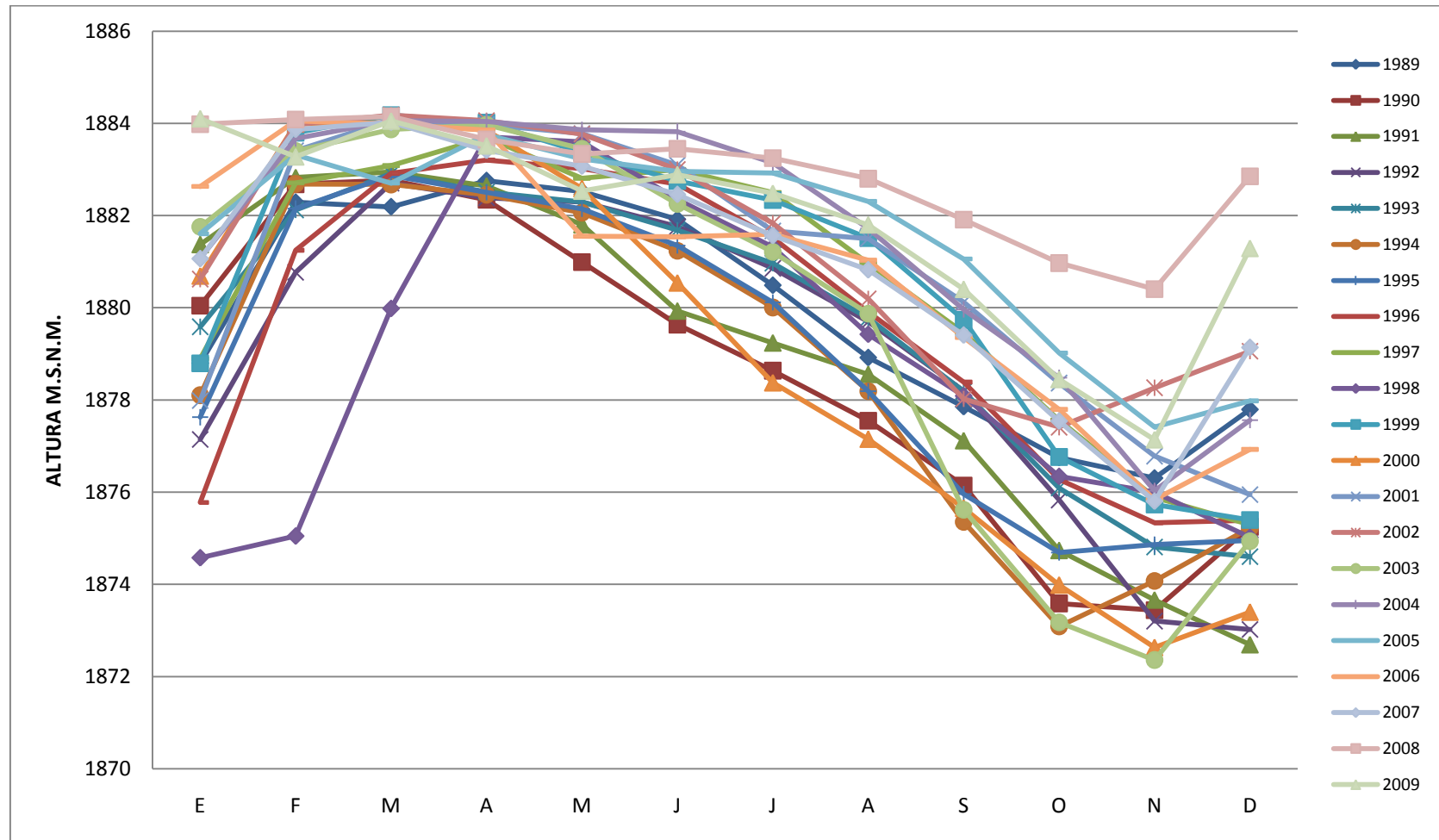
No tomaremos en cuenta los volúmenes expulsados por los desagües de fondo ya que la información obtenida de éstos no es precisa.

8.2.- Ciclo de regulación.

El ciclo de regulación corresponde al comportamiento del volumen útil a lo largo de un año.

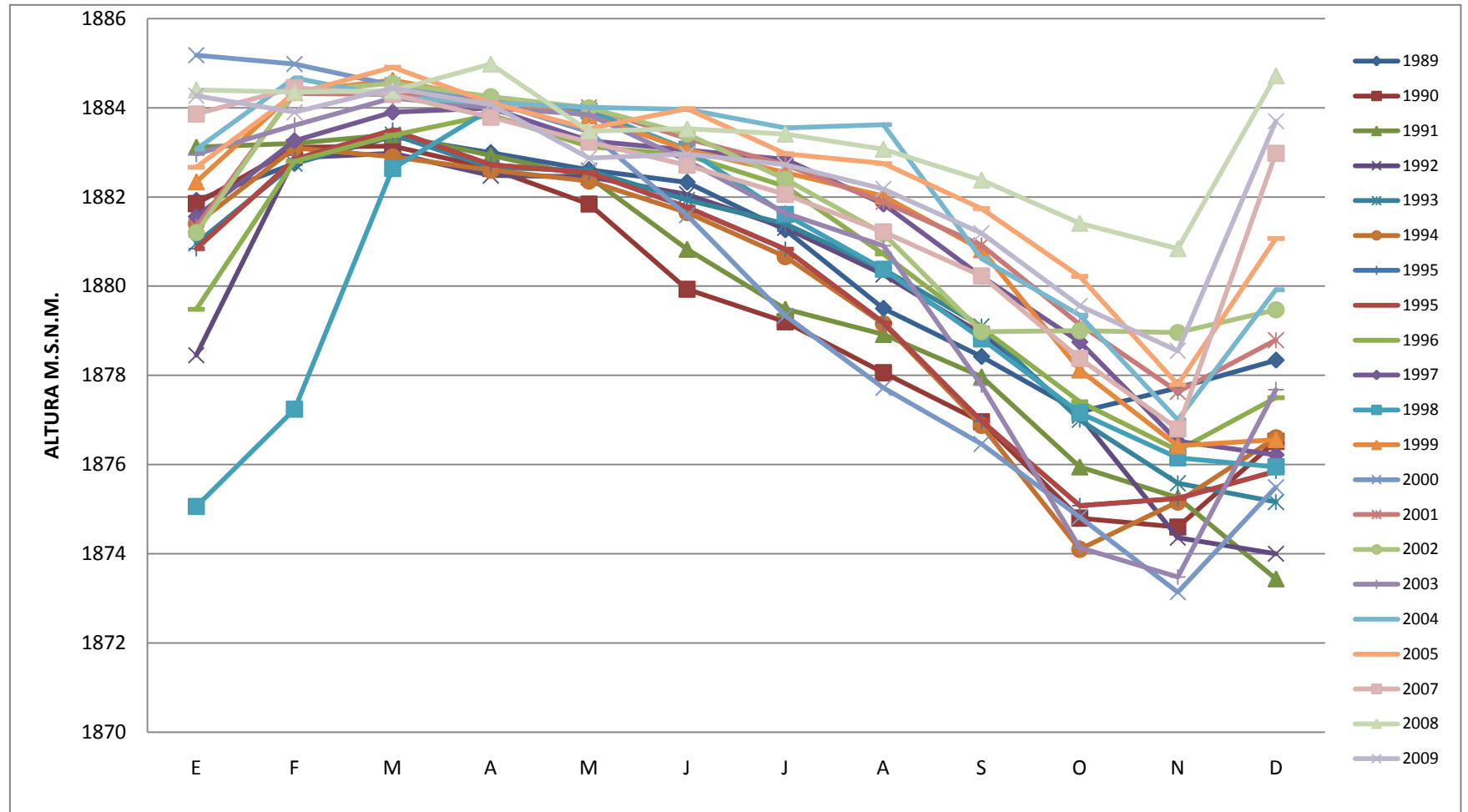
La siguientes gráficas nos muestra el comportamiento de las alturas de la regla limnimetrica a los largo de los 20 años de operación del embalse “San Jacinto”, tanto de los niveles medios mensuales, máximos mensuales y mínimos mensuales.

Gráfico N° 8.1
Niveles Medios Históricos Embalse “San Jacinto” 1989-2009



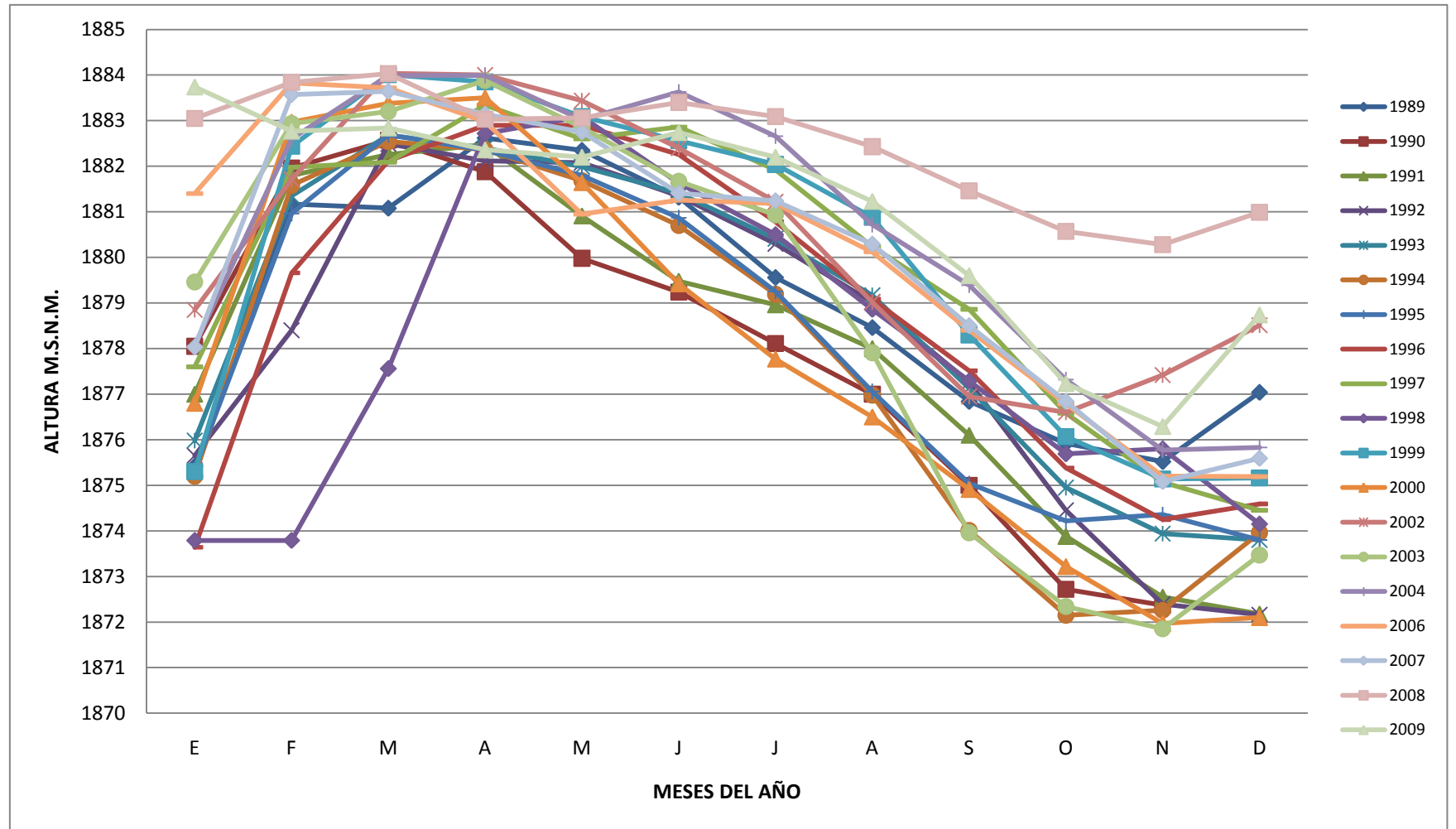
FUENTE: Elaboración Propia.

Gráfico N° 8.2
Niveles Máximos Históricos Embalse “San Jacinto” 1989-2009



FUENTE: Elaboración Propia.

Gráfico N° 8.3
Niveles Mínimos Históricos Embalse “San Jacinto” 1989-2009



FUENTE: Elaboración Propia.

En las gráficas anteriores no se incluyó el año 2006 dentro de los niveles máximos y los años 2001 y 2005 dentro de los niveles mínimos debido a que dentro de su secuencia limnimétrica existen valores medidos que no corresponden a las dimensiones normales del volumen útil. Ver anexo I

Si observamos las anteriores graficas podemos notar un comportamiento cíclico a lo largo de los años de funcionamiento del embalse, dentro de las cuales podemos notar tres fases:

- 1ra fase.- Esta fase comprende el lapso entre los meses de enero a abril, donde los niveles de agua se mantienen por encima de la cota de inicio de vertedero.

Esta fase nos indica el vertido ininterrumpido y casi constante de las aguas durante estos meses.

- 2da fase.-Comprendida entre los meses mayo a octubre, donde los niveles de agua mantienen su comportamiento descendente.

El comportamiento de esta fase es variable pudiendo iniciarse a mediados del mes de abril y finalizar en el mes de noviembre con las lluvias de verano.

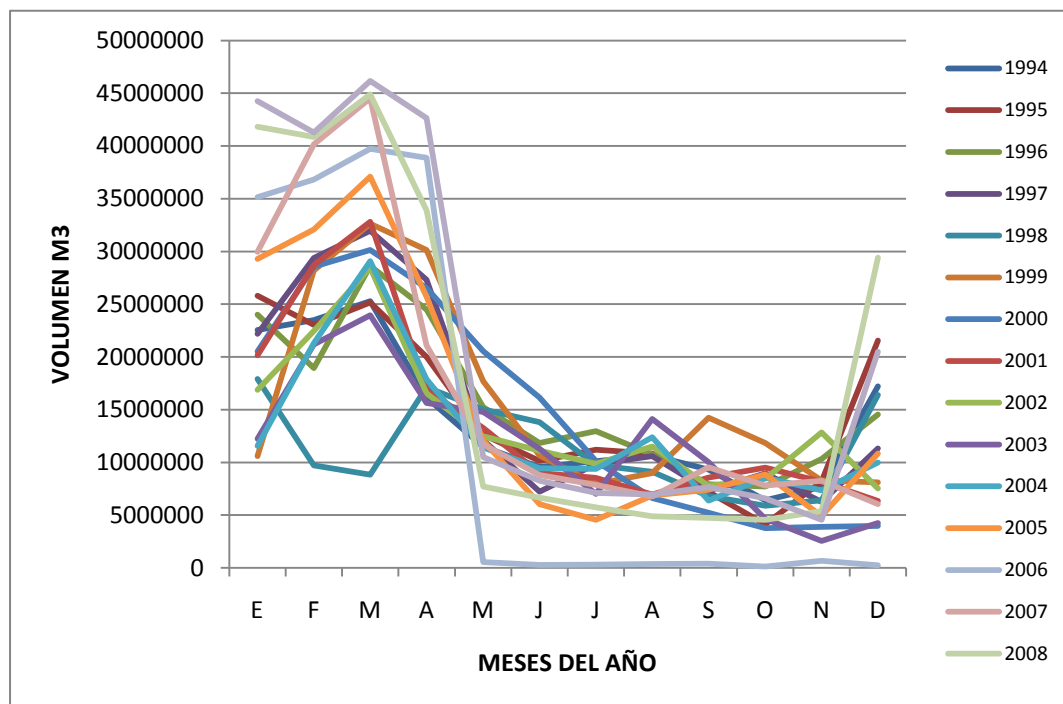
Se puede observar hasta descensos de casi 10 metros en el nivel de la regla limnimétrica.

- 3ra fase.-Esta fase comprende los meses de noviembre a enero, época en la cual ocurren las lluvias de verano, elevando rápidamente los niveles de agua embalsada hasta alcanzar nuevamente la cota de inicio de vertedero.

8.3.-Regulación mensual.

La regulación mensual del embalse se muestra a continuación en el siguiente gráfico:

Gráfico N° 8.4
Regulación Mensual



FUENTE: Elaboración Propia.

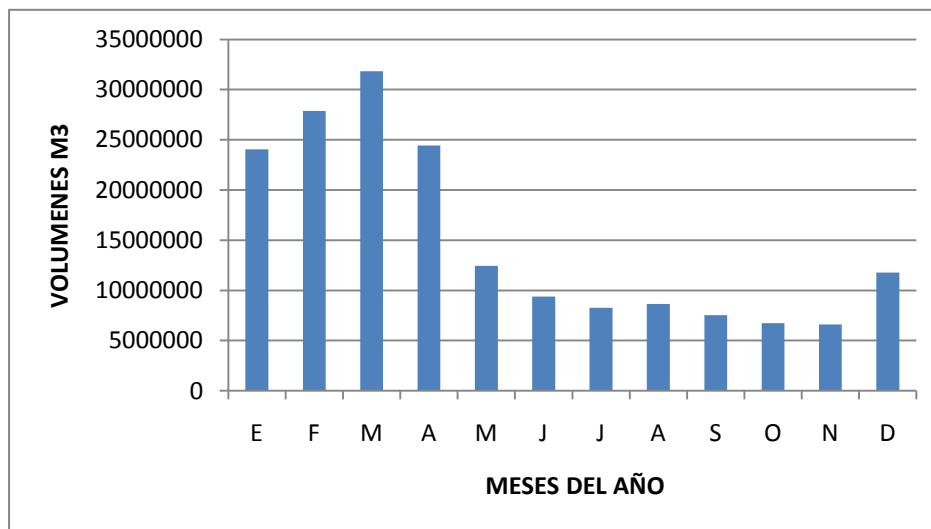
Cabe señalar que no se realizó la graficación de años anteriores a 1994, ya que dentro de ese lapso se desconocen los valores de volúmenes de agua destinados para irrigación.

Como se puede observar una vez más, de nuevo se presenta el comportamiento cíclico de las curvas, presentando mayores valores en la época de sequia y valores menores en la época de lluvias.

En el comportamiento de las curvas anteriormente mencionado se observa que la forma cíclica se encuentra gobernada por los volúmenes de agua destinados a la generación de energía eléctrica, debido a que son mayores en magnitud que los volúmenes de agua destinados a la irrigación.

Para poder observar de mejor manera el comportamiento de la regulación mensual procederemos a sacar valores promedios mensuales de cada año, obteniendo la siguiente gráfica:

Gráfica N° 8.5
Regulación Mensual



FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla N° 8.1
Regulación Mensual

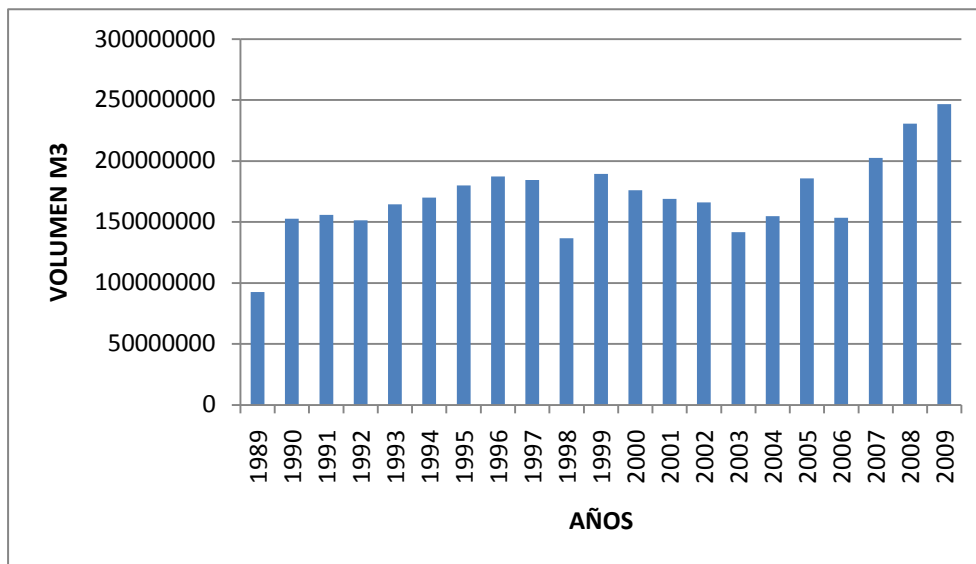
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Volumen Regulado Mensual	m³	23329607	26079195	29744830	22934847	12849542	9382306	8238458	8407064	7610007	7056546	7266822	11996486
	Hm³	23,33	26,08	29,74	22,93	12,85	9,38	8,24	8,41	7,61	7,06	7,27	12,00

FUENTE: Elaboración Propia.

8.4.-Regulación anual.

De la misma manera que la regulación mensual, la regulación anual se presenta a continuación en la siguiente gráfica:

Gráfico N° 8.6
Regulación Anual



FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla N° 8.2
Regulación Anual

Años	m³	Hm³
1989	92406527,13	92,41
1990	152721906,9	152,72
1991	155800652,7	155,80
1992	151320463,3	151,32
1993	164317764,7	164,32
1994	169873584	169,87
1995	179896896,4	179,90
1996	187326798,5	187,33
1997	184431987	184,43
1998	136720280,4	136,72
1999	189342662,5	189,34

Años	m ³	Hm ³
2000	176104174,5	176,10
2001	168884273,7	168,88
2002	165916875,1	165,92
2003	141696216,8	141,70
2004	154731099,4	154,73
2005	185762653,5	185,76
2006	153547425,1	153,55
2007	202504994	202,50
2008	230546875,9	230,55
2009	246466606,9	246,47

FUENTE: Elaboración Propia.

Como se puede observar la regulación mantiene su patrón de comportamiento constante, sin embargo se muestra un incremento los últimos años.

8.5.-Balance de regulación.

Como ya se había mencionado antes el balance de regulación comprende la comparación entre los volúmenes que ingresan y salen del embalse “San Jacinto”.

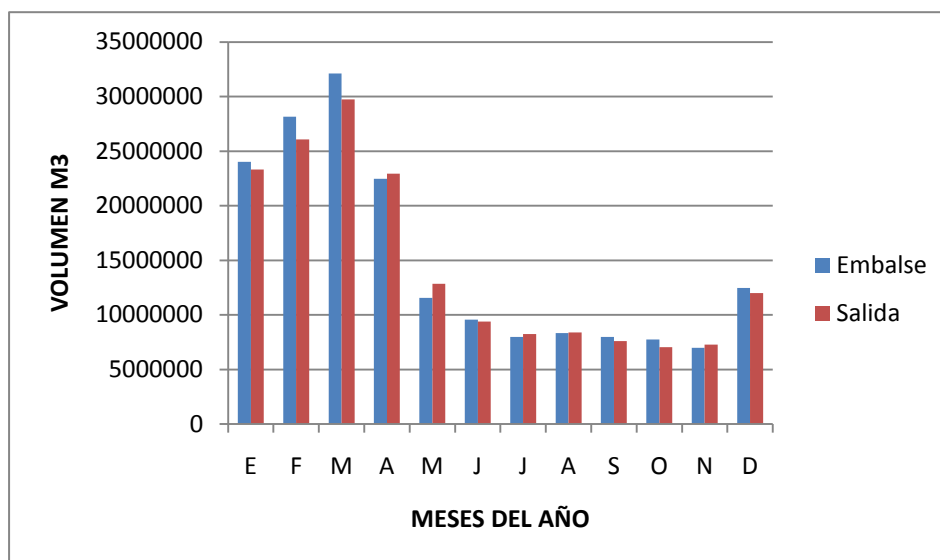
Utilizaremos como base los datos medidos en la regla limnimetrica transformados en volumen gracias a la curva de capacidad del embalse, durante los 20 años de funcionamiento, para obtener así valores de volúmenes reales dentro del embalse.

Los datos de salida del embalse comprenden los valores volumétricos utilizados en generación de energía hidroeléctrica, irrigación y agua potable además de la infiltración y evaporación producida en el embalse.

De esta manera podremos comparar si los valores volumétricos obtenidos tanto de generación de energía hidroeléctrica e irrigación son valores confiables, nuevamente como ya se vino haciendo, tomaremos en cuenta el balance de regulación de forma mensual y anual.

8.5.1-Balance de regulación mensual.

Gráfico N° 8.7
Balance de regulación mensual.



FUENTE: Elaboración Propia.

Si realizamos una comparación siendo los datos de embalse los volúmenes obtenidos gracias a la lectura de la regla limnimetrica y los datos de salida los referidos a la suma de volúmenes utilizados, se puede observar una clara divergencia de estos.

A continuación se muestra las divergencias obtenidas del balance de regulación mensual.

Tabla N° 8.3
Divergencias de regulación mensual.

Meses del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Volumen Medido Hm3	23,33	26,08	29,74	22,93	12,85	9,38	8,24	8,41	7,61	7,06	7,27	12,00
Volumen Regulado Hm3	24,03	28,17	32,12	22,48	11,56	9,57	7,99	8,32	7,99	7,76	6,98	12,48
Divergencia	0,971	0,926	0,926	1,020	1,111	0,980	1,031	1,010	0,952	0,909	1,042	0,962

FUENTE: Elaboración Propia.

Obteniéndose una divergencia mensual total de 0.85.

Esta divergencia se da debido a los siguientes factores:

- No se tomó en cuenta el volumen de salida utilizado por las compuertas de desagüe de fondo de la presa, ya que como se hacía mención antes no se cuenta con datos de funcionamiento de éstas.
- Los valores volumétricos obtenidos tanto de la generación de energía hidroeléctrica, irrigación, agua potable, infiltración y evaporación, se encuentran sujetos a errores de cálculo y estimación.

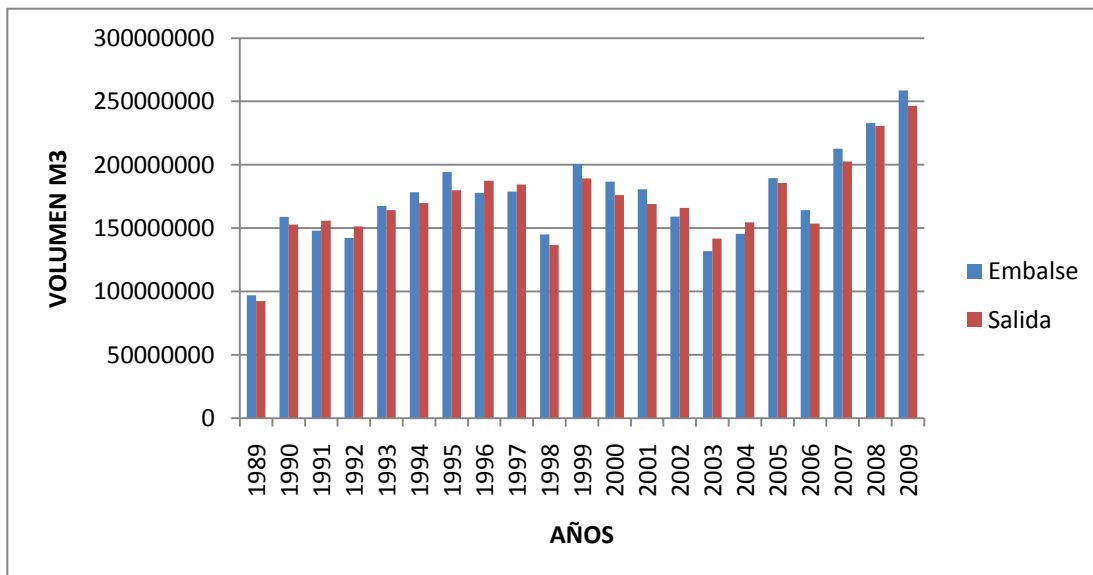
Dados los factores influyentes en la divergencia producida entre el balance de regulación mensual un valor total de 0.85, se hace aceptable.

De todas maneras el balance de regulación mensual es de índole demostrativo cumpliendo su objetivo de que los valores obtenidos de las sumatorias mensuales de volúmenes de salida del embalse corresponden a una variación que ocurre en el volumen útil debido a la operación del embalse.

8.5.2.-Balance de regulación anual.

Para realizar el balance de regulación anual procederemos de la misma forma que el balance de regulación mensual, obteniendo así la siguiente gráfica:

Gráfico N° 8.8
Balance de regulación anual.



FUENTE: Elaboración Propia.

Nuevamente obtenemos divergencia de valores, por lo tanto a continuación se presenta la tabla de divergencias a los largo de los años de funcionamiento

Tabla N° 8.4
Divergencias de regulación anual.

Años	Volumen Medido	Volumen Regulado	Divergencia
1989	92,41	97,03	0,740
1990	152,72	158,83	0,952
1991	155,80	148,01	0,962
1992	151,32	142,24	1,053
1993	164,32	167,60	1,064

Años	Volumen Medido	Volumen Regulado	Divergencia
1994	169,87	178,37	0,980
1995	179,90	194,29	0,952
1996	187,33	177,96	0,926
1997	184,43	178,90	1,053
1998	136,72	144,92	1,031
1999	189,34	200,70	0,943
2000	176,10	186,67	0,943
2001	168,88	180,71	0,943
2002	165,92	159,28	0,935
2003	141,70	131,78	1,042
2004	154,73	145,45	1,075
2005	185,76	189,48	1,064
2006	153,55	164,30	0,980
2007	202,50	212,63	0,935
2008	230,55	232,85	0,952
2009	246,47	258,79	0,990

FUENTE: Elaboración Propia.

Donde se obtuvo un valor de divergencia anual total de 0.78.

Tanto los factores que factores que producen la divergencia como las razones por las cuales hacen aceptable en el balance de regulación mensual, también son válidas para el balance de regulación anual.

8.6.-Volumenes no regulados.

Los volúmenes no regulados corresponden a aquellos que no forman parte del comportamiento anual cíclico variable del volumen útil.

Tomaremos en cuenta para el análisis al volumen útil como el volumen que se mantiene regulable al final de la vida útil del embalse, manteniéndose fuera del alcance de la sedimentación.

Como ya antes se había mencionado dicho volumen se encuentra limitado por las cotas de 1882.50 m.s.n.m. (cota superior) y 1871.7 m.s.n.m. (cota inferior) obteniéndose un volumen regulable de 41.03 Hm³ para una altura de 10.8 metros, y luego de la implementación de las presas inflables limitado por una cota de 1884.0 m.s.n.m. (cota superior) para un volumen de 49.44 Hm³.

Para evaluar el comportamiento del volumen útil a lo largo de los años procederemos a analizar los siguientes aspectos:

- Alturas mínimas históricas.
- Volúmenes históricos no regulados.

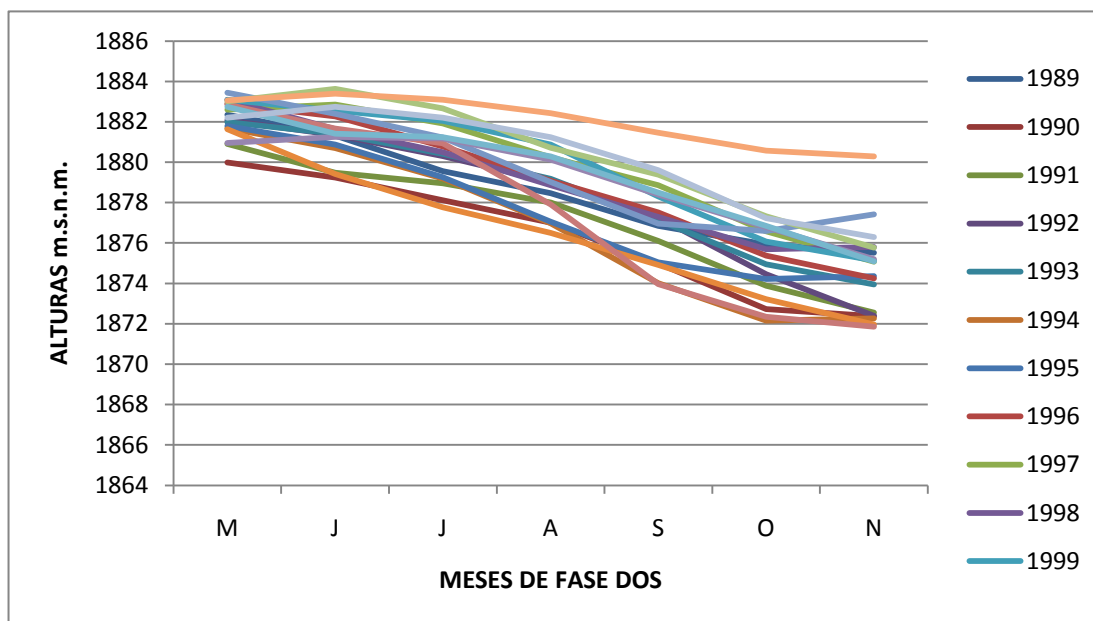
Las alturas mínimas históricas nos servirán para poder seleccionar aquellos años donde la operación realizada en el embalse no llegó a completar de manera optima un ciclo de regulación, produciendo volúmenes de agua que no fueron regulados, o de manera más objetiva se podría decir que fueron valores de agua no utilizados.

8.6.1-Alturas mínimas históricas.

Para obtener las alturas mínimas presentadas a lo largo de los años, graficaremos el comportamiento del embalse sólo en su segunda fase del ciclo de regulación, fase que consta del periodo comprendido entre los meses de mayo a octubre y algunas veces alargándose a noviembre.

Solo tomaremos esta fase debido a que dentro de ella ocurre la época seca y el comportamiento de regulación del embalse se torna descendente.

Grafico N° 8.9
Alturas Mínimas Históricas.



FUENTE: Elaboración Propia.

Nuevamente se quitó de la gráfica a los años 2001 y 2005, debido a que presentan valores fuera del normal desenvolvimiento del ciclo de regulación.

Obteniéndose las siguientes alturas mínimas históricas:

Tabla N° 8.5
Alturas Mínimas Históricas.

AÑO	VALORES HISTORICOS MINIMOS m.s.n.m.
1989	1875,42
1990	1872,37
1991	1872,18

AÑO	VALORES HISTORICOS MINIMOS m.s.n.m.
1993	1873,80
1994	1872,15
1995	1873,80
1996	1873,64
1997	1874,45
1998	1873,79
1999	1875,14
2000	1871,97
2001	1872,74
2002	1876,60
2003	1871,85
2004	1875,77
2006	1875,19
2007	1875,08
2008	1880,28
2009	1876,29

FUENTE: Elaboración Propia.

8.6.2-Volumenes históricos no regulados.

La Comisión Internacional de Grandes Presas, ICOLD por sus siglas en inglés, recomienda que la cota inferior del volumen útil debe estar salvada al menos en un valor de altura igual al 10 % de la altura correspondiente a dicho volumen.

La ICOLD recomienda el margen de seguridad anterior para asegurar la restitución del volumen útil producido por los volúmenes aportantes y así no afectar el normal comportamiento cíclico de regulación.

Siendo en este 1.08 m la altura correspondiente al 10 % del total de la altura que conforma el volumen útil, obtenemos una cota mínima de regulación igual a 1872.78 m.s.n.m, Por lo tanto los años que presentan volúmenes no regulados son los siguientes:

Tabla N° 8.6
Volúmenes Históricos No Regulados.

AÑO	VALORES HISTORICOS MINIMOS m.s.n.m.	ALTURA NO REGULADA m	VOLUMENE NO REGULADO Hm3
1989	1875,42	2,64	7,00
1993	1873,80	1,02	2,60
1995	1873,80	1,02	2,60
1996	1873,64	0,86	2,08
1997	1874,45	1,67	1,56
1998	1873,79	1,01	2,60
1999	1875,14	2,36	6,42
2002	1876,60	3,82	10,65
2004	1875,77	2,99	8,17
2006	1875,19	2,41	6,43
2007	1875,08	2,30	5,86
2008	1880,28	7,50	26,37
2009	1876,29	3,51	6,99

FUENTE: Elaboración Propia.

Obteniéndose un volumen total no regulado de 89.33 Hm³.

9.-LAMINACIÓN.

Se llama laminación de crecidas al fenómeno que se produce entre el almacenamiento y el caudal de salida por el vertedero para una crecida determinada en el proyecto, mientras sea válida la hipótesis de que el pelo de agua se mantiene horizontal.

Como consecuencia práctica de todo esto se tiene que, los caudales altos aguas abajo de una presa, son menos frecuentes después de la construcción de la presa y su embalse asociado, lo que incentiva a los moradores, situados aguas abajo, a ocupar progresivamente el área del cauce mayor del río, y cuando este debe ser usado, para garantizar la seguridad de la presa, se producen daños a las propiedades que se han ubicado al interior del cauce mayor, indebidamente ocupado.

Por lo tanto la laminación de crecidas generalmente se realiza para periodos de ocurrencia mayores a 50 años, ya que las avenidas de menor entidad no necesitan normalmente ser laminadas.

La crecida de diseño del embalse “San Jacinto” corresponde a una crecida decamilenal, es decir una crecida de 10000 de periodo de retorno.

Esta crecida según el diseño del proyecto produce una elevación del volumen de agua del embalse que alcanza una cota de 1887.0 m.s.n.m., siendo esta cota cinco metros de altura por encima del nivel normal del embalse.

La importancia de la laminación es tal que el caudal evacuado durante la crecida del proyecto considerada (caudal punta de 3500 m³/s) es del orden de 900 m³/s para un vertedero con umbral libre de 40 metros de longitud como ya se había mencionado.

En el caso en el cual se hace la hipótesis de que los desagües de fondo no funcionan, siendo el vertedero el único instrumento hidráulico de evacuación.

Cabe mencionar como ya se había visto en los capítulos anteriores que desde el año 1996, se elevan los niveles del embalse aumentando el volumen útil del proyecto, gracias a la implementación de las presas inflables, las cuales afectan directamente el comportamiento normal del vertedero de excedencias.

Tomando en cuenta lo anteriormente citado realizaremos la evaluación del comportamiento del vertedero de excedencias con distinguiendo los periodos de funcionamiento de dichas presas.

Para realizar una evaluación del vertedero y su comportamiento a lo largo de los años, procederemos a observar los siguientes aspectos.

- Láminas históricas.
- Volúmenes históricos.

Estos dos aspectos nos podrán dar una idea del funcionamiento del vertedero a lo largo de los 20 años ya transcurridos desde el inicio de funcionamiento del embalse.

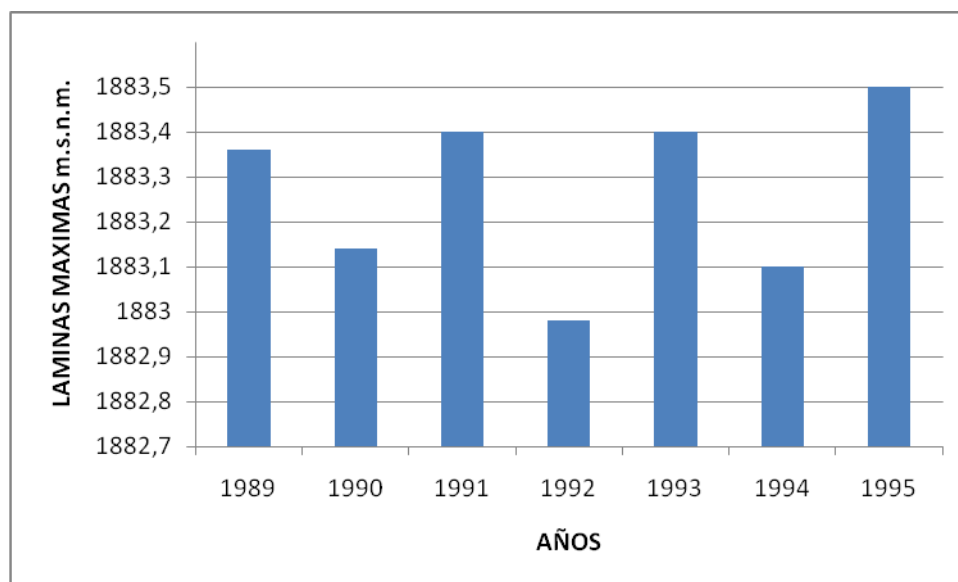
La evaluación se realizará sin presas inflables en el periodo anterior a su implementación y con presas inflables a partir del año 1996.

9.1.-Láminas máximas históricas.

El comportamiento laminar máximo histórico producido por el vertedero de excedencia es el siguiente:

- Sin presas inflables

Gráfico N° 9.1
Laminas Históricas Sin Presas Inflables



FUENTE: Elaboración Propia.

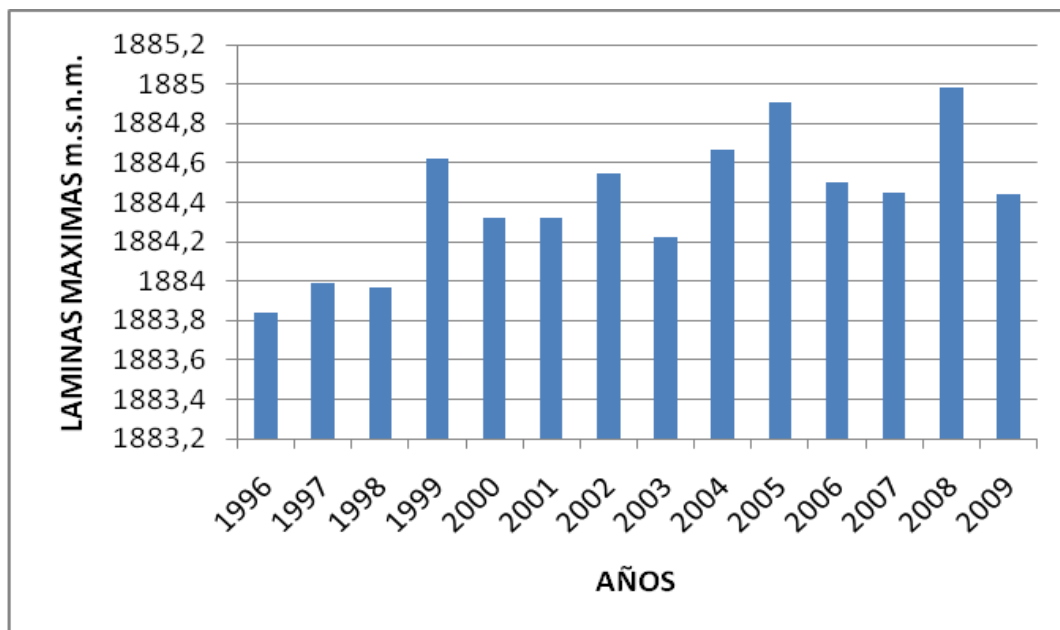
Tabla N° 9.1
Tirantes Históricos Sin Presas Inflables

Año	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Cota (m.s.n.m.)	1883,36	1883,14	1883,4	1882,98	1883,4	1883,1	1883,5
Tirantes (m)	0,86	0,64	0,9	0,48	0,9	0,6	1

FUENTE: Elaboración Propia.

- Con Presas Inflables.

Grafico N° 9.2
Laminas Históricas con Presas Inflables



FUENTE: Elaboración Propia.

Produciéndose los siguientes tirantes históricos por sobre las presas inflables:

Tabla N° 9.2
Tirantes Históricos Con Presas Inflables

	Cota (m.s.n.m.)	Tirantes (m)
1996	1884,1	0,1
1997	1884,2	0,2
1998	1884,18	0,18
1999	1884,62	0,62
2000	1884,32	0,32
2001	1884,32	0,32
2002	1884,55	0,55
2003	1884,22	0,22
2004	1884,67	0,67
2005	1884,91	0,91

	Cota (m.s.n.m.)	Tirantes (m)
2006	1884,5	0,5
2007	1884,45	0,45
2008	1884,98	0,98
2009	1884,44	0,44

FUENTE: Elaboración Propia.

Durante el funcionamiento del embalse los primeros años se produjo un tirante medio anual de 0.77 m, con un máximo ocurrido de 1.00 m en el año 1995 y un mínimo de 0.60 m ocurrido en 1994.

Luego de la implementación de las presas inflables se produjo un tirante medio anual de 0.46 m, con un máximo ocurrido de 0.98 m en el año 2008 y un mínimo de 0.10 m ocurrido en el año 1996. Se puede observar el descenso de láminas históricas producidas luego de la implementación de las presas inflables.

9.2.-Volumenes históricos.

Los volúmenes históricos corresponden a los cuales son vertidos a través del vertedero de excedencias.

A continuación se presenta los volúmenes históricos vertidos

- Sin presas inflables.

Tabla N° 9.3
Volúmenes Históricos Sin Presas Inflables

AÑO	VOLUMEN VERTIDO (m³)	N° VECES DE VOLUMEN UTIL
1989	41150322	1,00
1990	40576159	0,99
1991	107321859	2,62

AÑO	VOLUMEN VERTIDO (m³)	Nº VECES DE VOLUMEN UTIL
1992	20768156	0,51
1993	43936981	1,07
1994	40263721	0,98
1995	42069873	1,03

FUENTE: Elaboración Propia.

- Con presas inflables

Tabla N° 9.4

Volúmenes Históricos Con Presas Inflables

Año	VOLUMEN VERTIDO	Nº VECES DE VOLUMEN UTIL
1996	4502365	0,09
1997	6852369	0,14
1998	6825914	0,14
1999	22236598	0,45
2000	17896532	0,36
2001	17365896	0,35
2002	21589631	0,44
2003	65987231	1,33
2004	22456983	0,45
2005	37698456	0,76
2006	22459157	0,45
2007	21569874	0,44
2008	40963159	0,83
2009	21658974	0,44

FUENTE: Elaboración Propia.

Durante el primer periodo por así decirlo de funcionamiento del embalse sin la implementación de las presas inflables se obtuvo un volumen medio vertido anual de 48012438,7 m³ siendo 1.17 veces el valor del volumen útil.

Cabe mencionar también que se obtuvo un valor máximo y mínimo de 0.51 y 2.62 veces el volumen útil respectivamente.

Luego de la aplicación de las presas inflables se observa la reducción del volumen vertido, obteniendo un promedio anual de 23575938,5 m³ siendo 0.48 veces el valor del volumen útil a la cota de 1884.0 m.s.n.m.

Se obtuvo un máximo y un mínimo 0.09 y 1.33 veces el volumen útil respectivamente.

Se observa un descenso considerable de volumen de agua vertida después de la implementación de las presas inflables.

Se observa un descenso considerable de agua vertida después de la implementación de las presas inflables.

Cabe mencionar que los volúmenes históricos se calcularon a partir de la ecuación característica del vertedero, con un coeficiente de descarga igual a 2 sin presas inflables, y luego de la implementación de las presas inflables se adoptó diferentes coeficientes como indica la tabla en el anexo VI.

10.-EVALUACIÓN DE MÁXIMA DEMANDA.

El crecimiento de la máxima demanda de irrigación, las cantidades subestimadas de agua para irrigación, los potenciales incrementos de hectáreas con potencialidades de riego y las alzas considerables de los precios de los hidrocarburos nos pueden hacer repensar los objetivos principales del Proyecto Múltiple San Jacinto.

Debido a que los volúmenes característicos han sido solamente proyectados para satisfacer las demandas de riego, no se sabe con certeza si la generación de energía eléctrica será satisfecha en el futuro.

Por lo tanto realizaremos una evaluación de demandas máximas para poder observar si la generación de energía hidroeléctrica gobernante de la regulación del embalse se verá comprometida dentro de los próximos años de funcionamiento del embalse.

Para realizar dichas evaluaciones de demandas máximas procederemos a evaluar las siguientes hipótesis:

- Demanda máxima de irrigación de proyecto.
- Demanda máxima de irrigación con áreas potencialmente regables.
- Demanda máxima de irrigación con área máxima de proyecto.

10.1.-Demanda Máxima de Irrigación de Proyecto.

La demanda máxima corresponde a los valores máximos volumétricos proyectados en el estudio de pre inversión que todavía no han sido alcanzados.

Para realizar la proyección de la demanda realizaremos el estudio con el año 2007, ya que este año presenta la demanda máxima de agua para riego registrada además que los valores de hectáreas registradas en este años son exactas legando a alcanzar 1800 al final del año.

Siendo los volúmenes de demanda los siguientes:

Tabla N° 10.1
Demanda Máxima de Irrigación de Proyecto

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
REGULACION ANUAL	Hm³	29,95	40,15	44,53	21,09	11,70	8,79	7,86	6,77	9,54	7,80	8,27	6,04
CONSUMO ACTUAL DE RIEGO	Hm³	0,16	0,14	0,18	0,24	0,21	0,26	0,25	0,21	0,28	0,33	0,27	0,33
CONSUMO ENERGIA	Hm³	29,62	39,70	44,28	20,41	11,34	8,32	7,24	6,20	8,61	7,42	8,05	5,79
CONSUMO DE PROYECTO	Hm³	0,7	1	2,8	3	2	1,1	1,7	2,5	4,6	4,5	3,7	1,6
DIFERENCIA DE CONSUMOS	Hm³	0,54	0,86	2,62	2,76	1,79	0,84	1,45	2,29	4,32	4,17	3,43	1,27
ENERGIA PROYECTADA	Hm³	29,09	38,83	41,66	17,65	9,55	7,47	5,78	3,91	4,30	3,24	4,62	4,51
VARIABILIDAD	-	0,98	0,98	0,94	0,86	0,84	0,90	0,80	0,63	0,50	0,44	0,57	0,78

Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose una variabilidad media de 0.77, una mínima de 0.44 producida en el mes de octubre y una máxima de 0.98 producida en el mes de enero y febrero.

Se puede deducir que con demanda máxima de riego proyectada la demanda de volúmenes para generación de energía hidroeléctrica seguirán garantizándose durante la época húmeda, pero en la época seca se verán comprometidos existiendo en algunos meses un decremento considerable llegando a alcanzar valores de hasta 0.44 en el mes de octubre.

10.2.- Demanda máxima de irrigación con áreas potencialmente regables.

Se debe tomar en cuenta que el déficit hídrico en todas las parcelas no es el mismo, ya que varía de acuerdo a la zona y el tipo de cultivo, y debido a esto es difícil aproximar con un grado de exactitud aceptable el consumo de agua al que podrán acceder.

Por lo tanto la proyección de volúmenes de irrigación la realizaremos de forma lineal, aunque no es aconsejable nos dará una visión de un posible comportamiento de la dotación.

Tabla N° 10.2
Demanda máxima de irrigación con áreas potencialmente regables

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
REGULACION ANUAL	Hm³	29,95	40,15	44,53	21,09	11,70	8,79	7,86	6,77	9,54	7,80	8,27	6,04
CONSUMO ACTUAL DE RIEGO	Hm³	0,16	0,14	0,18	0,24	0,21	0,26	0,25	0,21	0,28	0,33	0,27	0,33
CONSUMO ENERGIA	Hm³	29,62	39,70	44,28	20,41	11,34	8,32	7,24	6,20	8,61	7,42	8,05	5,79
CONSUMO POTENCIAL	Hm³	0,52	0,44	0,56	0,76	0,68	0,81	0,79	0,67	0,90	1,03	0,87	1,03
DIFERENCIA DE CONSUMOS	Hm³	0,36	0,30	0,39	0,52	0,46	0,56	0,54	0,46	0,62	0,71	0,59	0,71
ENERGIA PROYECTADA	Hm³	29,27	39,39	43,90	19,89	10,87	7,76	6,70	5,74	8,00	6,71	7,46	5,08
VARIABILIDAD	-	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,93	0,93	0,93	0,93	0,90	0,93	0,88

Fuente: Elaboración propia

En este caso se obtiene una variabilidad media asciende a un valor de 0.94, llegando a ser un valor que casi constante a lo largo de todos los meses.

Esto nos indica que la demanda de agua para consumo de energía se encuentra garantizada para una posible implementación de 3900 hectáreas de riego potenciales.

10.3.- Demanda máxima de irrigación con área máxima de proyecto.

La demanda de irrigación con área máxima de proyecto corresponde a las 3000 hectáreas de riego proyectadas.

Tabla N° 10.3
Demanda máxima de irrigación con área máxima de proyecto

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
REGULACION ANUAL	Hm³	29,95	40,15	44,53	21,09	11,70	8,79	7,86	6,77	9,54	7,80	8,27	6,04
CONSUMO ACTUAL DE RIEGO	Hm³	0,16	0,14	0,18	0,24	0,21	0,26	0,25	0,21	0,28	0,33	0,27	0,33
CONSUMO ENERGIA	Hm³	29,62	39,70	44,28	20,41	11,34	8,32	7,24	6,20	8,61	7,42	8,05	5,79
CONSUMO POTENCIAL	Hm³	0,27	0,23	0,30	0,40	0,36	0,43	0,41	0,35	0,47	0,54	0,45	0,54
DIFERENCIA DE CONSUMOS	Hm³	0,11	0,09	0,12	0,16	0,14	0,17	0,17	0,14	0,19	0,22	0,18	0,22
ENERGIA PROYECTADA	Hm³	29,52	39,60	44,16	20,26	11,19	8,15	7,07	6,06	8,43	7,20	7,87	5,57
VARIABILIDAD	-	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,96

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto se puede observar que como en el caso anterior la demanda de energía hidroeléctrica se mantiene garantizada a lo largo del año.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la observación del funcionamiento del embalse tanto en el uso del agua y del comportamiento hidráulico posible de evaluar, se realizarán las conclusiones y recomendaciones del estudio de evaluación.

Conclusiones.

- Las demandas de volúmenes de irrigación en la actualidad no justifican el objetivo del proyecto, es decir el balance realizado entre los volúmenes previstos de diseño y los volúmenes de dotación de los diferentes del sistema de riego del embalse San Jacinto, presentan variaciones considerables, teniendo en cuenta que ya transcurrieron 20 años del inicio de funcionamiento del embalse, por lo tanto en este periodo de funcionamiento el objetivo del proyecto fue el de producción de energía eléctrica y no así el de irrigación.
- Se puede observar que la cantidad de volumen de riego a sido súper estimada, por lo cual dicha cantidad podría abastecer a mas de las 3000 hectáreas proyectas, llegando a alcanzar 3922 hectáreas potencialmente regables.
- La atención de la demanda de energía eléctrica a pedido de Setar ha sido totalmente abastecida a lo largo de los años, siendo los volúmenes de dotación los más parecidos a los adoptados en el proyecto.
- Se garantiza la atención de dotación de volúmenes destinados a la generación de energía eléctrica, dado que llegar a volúmenes de irrigación que comprometerían al normal funcionamiento de la central se hace difícil, de acuerdo al crecimiento de los diferentes sistemas de irrigación y al área de influencia del proyecto.
- Durante los 20 años que lleva funcionando el embalse se derivo agua para reducir la demanda de agua potable en Tarija, aunque no estaba proyectado los volúmenes son pequeños en comparación del volumen útil del embalse, por lo cual su derivación no llegó a influir de manera notable el normal desenvolvimiento del ciclo de regulación del embalse.
- La sedimentación producida por la degradación de la cuenca Tolomosa es alta, donde los valores de diseño fueron subestimados.
Se puede observar incrementos de 270 % y 150 % de sedimentos anuales lo que comprometería el normal desenvolvimiento del embalse en los años futuros.

Las medidas empleadas para la protección del volumen útil, fueron de gran ayuda pero hasta el momento no eliminaron por completo el problema.

- Si los valores de sólidos sedimentados se mantienen constantes, el periodo de vida útil del embalse se encontraría comprometido, llegando a reducirse hasta un 44 % correspondiente a 22 años de funcionamiento del embalse.
- La regulación del embalse a través de los años producida por la operación de este, es buena, llegando a cumplir en su generalidad todo el ciclo de regulación, aunque en algunos años cierto volumen no es regulado, pero sin llegar a alcanzar volúmenes altos y comprometer las diferentes dotaciones que realiza el embalse.
- Las láminas históricas luego de 20 años de operación son pequeñas en comparación a las dimensiones de diseño del vertedero, confirmando que se tomo una crecida de diseño y un periodo de retorno muy conservador.
- Luego de haberse implementado las presas inflables y debido a esto aumentado la altura regulable de la presa, se sigue produciendo el ciclo de regulación del embalse, llegando aunque en menos media a evacuar aguas por el vertedero y volver a bajar hasta el nivel mínimo de operación.
- Las implementación de las presas inflables redujo considerablemente los volúmenes anuales vertidos, por lo cual mejora e incrementa la utilización del volumen útil en la dotación de agua en sus diferentes aplicaciones.
- No se realiza la completa auscultación del embalse, por razones de falta de mantenimiento o daños en los diferentes sistemas de auscultación.

Recomendaciones.

- Es de gran importancia la aplicación de un buen mantenimiento a los sistemas de auscultación del embalse, ya que hasta la fecha en algunos casos no se cuenta con registros históricos en ciertos instrumentos o en otros los sistemas han sido anulados.
- Es necesario realizar un estudio completo de erosión de la cuenca, para poder aplicar medidas de control para frenar la sedimentación del embalse, ya que durante su operación los niveles de sedimentación son excesivamente altos y comprometen la vida útil del proyecto.

- Se debe realizar el estudio de riesgo de inundación, por la falla del dique de La Tablada, y de esta manera prevenir mediante planes de protección, daños ocasionados en la zona de aguas abajo del embalse San Jacinto.
- Se debe realizar el análisis de la operación futura del embalse, para así poder realizar una planificación del posible uso del agua del proyecto y determinar si su objetivo de diseño se mantendría a futuro o tomaría otro rumbo.