

Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas Weap al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata

Angela Andrea Salinas Villafañe

Oscar Paz Rada

SUMMARY: The project analyse the WEAP ("Water Evaluation And Planning" system) that is a user-friendly software tool that takes an integrated approach to water resources planning, inside the project: Adduction Mururata Water Ressources, considering the use of scenarios to give answers to the changes caused by variations of the water demand and the water provision, impacts in the change of future policies and the climate climate, compatibility with environmental objectives and costs, in function to analyze the best possible use of the water resource and the correct administration in the context of the permanent search of a sustainable development in the region.

RESUMEN: El proyecto analiza el Modelo de Planificación Hídrica "WEAP" como una herramienta de última generación para la planificación del uso de Recursos Hídricos, en el proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata, considerando el uso de escenarios para dar respuesta a los cambios provocados por variaciones de la demanda y el suministro, impactos en el cambio de políticas futuras y clima, compatibilidad con objetivos ambientales y costos, en función a analizar el mejor uso posible del recurso agua y su correcta administración en la permanente búsqueda de un desarrollo sostenible de la región.

1.- INTRODUCCIÓN.

El abastecimiento de agua limpia para la población humana, continuamente en crecimiento, es uno de los problemas más serios que enfrentamos de cara al futuro. El crecimiento demográfico, la industrialización y la urbanización están agotando y contaminando los lagos, ríos y acuíferos en forma irreversible. Por otro lado la retracción de los nevados por efecto del cambio climático mundial está provocando la disminución de agua para el consumo y riego en nuestro país. Por tanto es imprescindible colaborar en el manejo de las políticas de agua mediante la planificación estratégica de cara a los nuevos desafíos que enfrentamos como sociedad.

El constante crecimiento de la población sumado a la saturación del centro de la ciudad hace que

II
 asentamientos humanos, lo que conlleva a una mayor población en comunidades como Río Abajo en el sur de la ciudad, por lo que la dotación del agua potable y el análisis de la gestión de los recursos hídricos en este lugar es imprescindible. La asignación de los recursos limitados de agua entre los usos agrícola, municipales y ambientales requieren ahora de la completa integración de la oferta, demanda, calidad de agua y consideraciones ecológicas. Entonces y para estos fines es que se plantea el uso de la herramienta de planificación hídrica "WEAP"-

2.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Aplicar el modelo de evaluación y planificación del agua, "WEAP", para fortalecer el

análisis de planificación hídrica en el proyecto:
"Aducción de Recursos Hídricos Mururata".

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio detallado del modelo de simulación WEAP para su entendimiento, estableciendo sus bases matemáticas y/o conceptuales.
- Analizar la información obtenida y requerida por el modelo dentro del proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata.
- Calibrar y validar el modelo en el proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata.
- Resolver los distintos escenarios planteados para la planificación de recursos hídricos y el análisis de políticas en el proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata.
- Determinación y análisis de resultados de la modelación para el establecimiento de las mejores políticas y estrategias del manejo del recurso hídrico en el proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata.

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MODELO WEAP

WEAP ("Water Evaluation And Planning" según la sigla en inglés) fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute, es una herramienta computacional amigable que provee un enfoque integral a la planificación de los recursos hídricos, incorporando valores para la planificación de recursos hídricos y el análisis de políticas del uso del agua.

WEAP posiciona las condiciones del lado de la demanda de agua, tales como patrones de uso del agua, eficiencias de equipos, estrategias de la reutilización, costos, y esquemas de asignación del agua en una misma línea con los temas del lado de la oferta de agua tales como caudal,

recursos de agua subterránea, embalses, y transferencia de agua. WEAP también se distingue por su enfoque integral al simular tanto los componentes naturales (ej. las demandas por evapotranspiración, escorrentía, flujo base, etc.) como los componentes humanos (ej. embalses, bombeo de agua subterránea, plantas hidroeléctricas y otros) de los sistemas de agua, permitiendo el acceso del planificador a una vista más comprensiva de la amplia gama de factores que deben ser considerados en el manejo de los recursos hídricos para el uso presente y futuro. El resultado es una herramienta eficaz para examinar opciones alternativas del desarrollo y manejo del agua.

5.- SISTEMA PLANTEADO

Para la aplicación del modelo se parte de la modelación base que muestra el sistema planteado para el proyecto "Aducción de Recursos Hídricos Mururata", el cual considera la utilización de una aductora de aproximadamente 54,914 km por gravedad para la dotación de agua potable a 23 comunidades ubicadas en el municipio de Mecapaca (Figura 1). Dentro de este sistema se analizará la oferta y demanda de agua tomando en cuenta el caudal de entrada con el que se diseñará la aducción (oferta) desde el río Palcoma, previa calibración y validación, y la demanda satisfecha para cada una de las comunidades beneficiadas dentro el proyecto.

A partir de esta modelación se crearán escenarios para el análisis de distintas suposiciones planteadas en el proyecto.

6.- CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA ELEGIDA

La cuenca del Río Palcoma (Figura 2) con una superficie de aproximadamente 47 km², aporta un caudal medio en condiciones mínimas de 544 l/seg., valor que permite utilizar como fuente de abastecimiento, sin trasvases ni presas de reserva.

El estudio hidrológico realizado para el proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata persiguió el objetivo de determinar el comportamiento de los aportes mensuales de la cuenca del Río Kallapa con punto de control en la estación hidrométrica Chicani (Figura 3), para

establecer la oferta mensual promedio de agua en la cuenca. Para esto se realizó un balance hídrico, a nivel mensual, de la cuenca a través del modelo SIMULA que permitió determinar caudales a partir de precipitaciones.

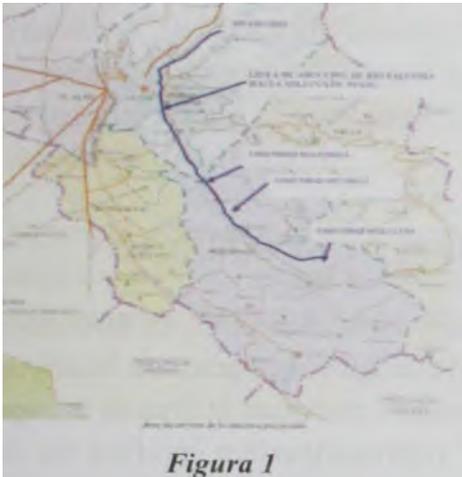


Figura 1

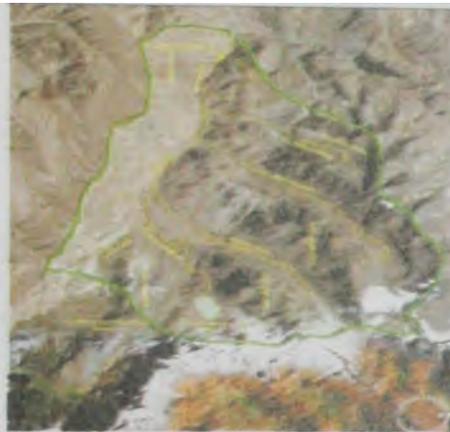


Figura 2

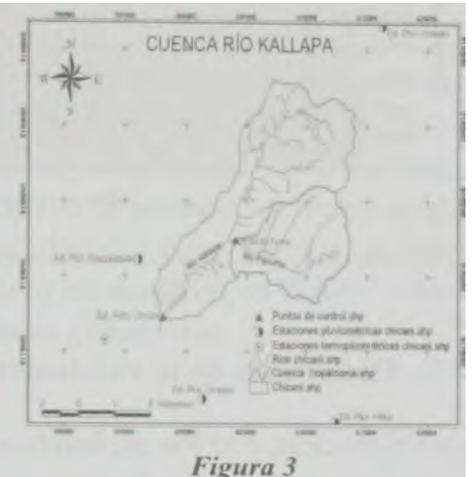


Figura 3

La figura 4 establece los caudales medios mensuales registrados en el punto de control de la obra de toma para un periodo de 1976-1998 en la Cuenca del Río Palcoma.

7.- CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO WEAP

Los componentes del balance hidrológico modelados usando el programa WEAP son evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, flujo horizontal entre capas, y flujo base. WEAP requiere la entrada de datos climatológicos y de cobertura vegetal para estimar estos componentes del balance hidrológico para cada una de las unidades espaciales básicas que tienen que ser identificadas en el modelo.

Los datos climáticos requeridos para realizar la modelación incluyen precipitación, temperatura, humedad, viento, % de horas de sol y latitud. Adicionalmente, datos de caudales en estaciones de medición son necesarios para poder comparar los resultados del modelo y realizar calibraciones.

7.1.- Resultados de la calibración

Como resultado de un proceso de varios análisis valorando las diferentes variables, se pudo obtener caudales calibrados en el punto de la obra de

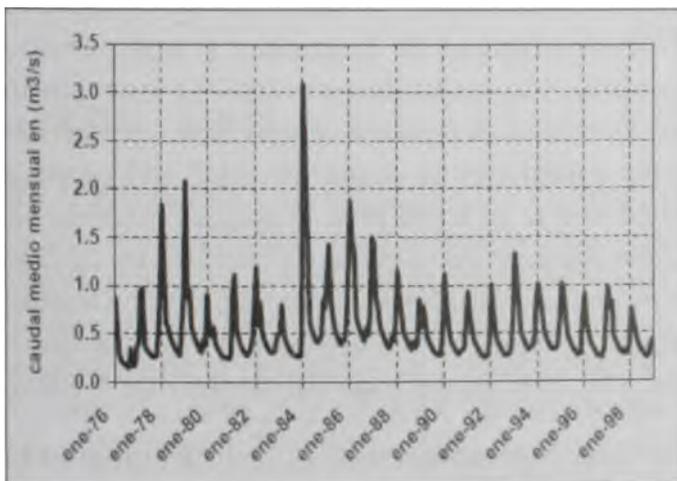


Figura 4

Los resultados de la simulación muestran, en la cuenca del río Palcoma un caudal medio mensual de 0.544 (m³/s), un caudal mínimo mensual de 0.145 (m³/s) y un caudal máximo mensual de 3.089 (m³/s).

toma de la cuenca Palcoma con un coeficiente de correlación igual a 0,83 (fig. 5).

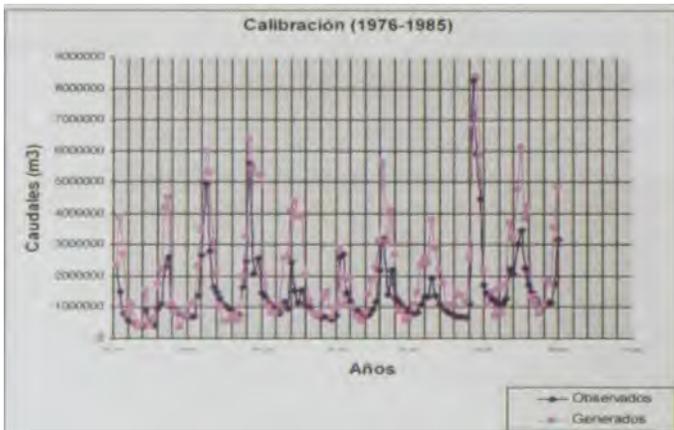


Figura 5

7.2.- Resultados de la validación

La validación, con los parámetros ya ajustados, generó una nueva serie de datos a ser comparados con los registros históricos de un periodo diferente al periodo calibrado dando como resultado un coeficiente de correlación de 0,35 (fig. 6).

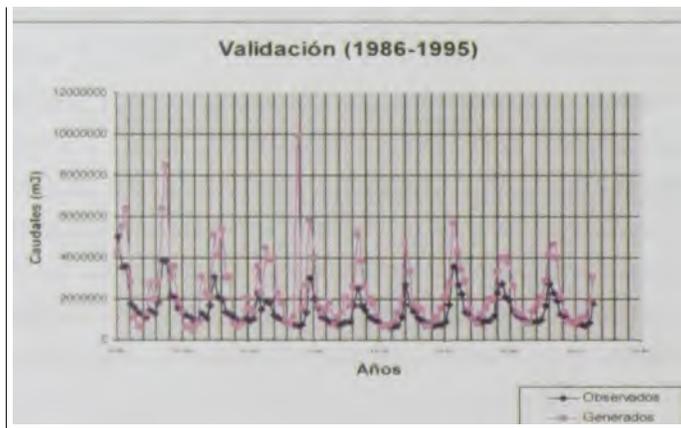
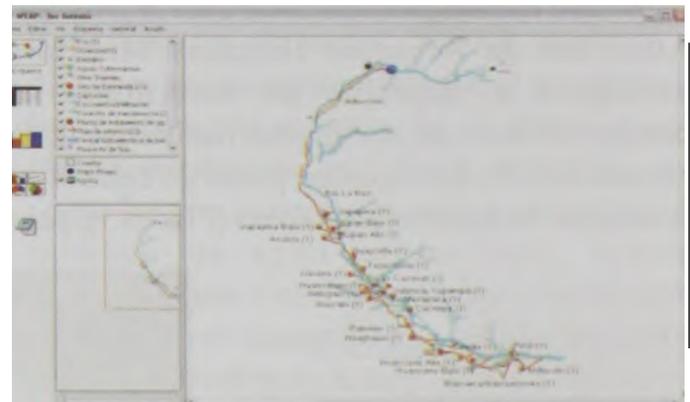


Figura 6

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OC	NOV	DIC
2000	1.327	1.463	1.144	2.685	0.582	0.379	0.447	0.271	0.754	0.483	0.707	1.499
2001	1.431	0.934	0.773	0.334	0.225	0.433	0.411	0.263	0.370	0.429	0.420	0.639
2002	1.143	0.974	0.773	0.628	0.477	0.411	0.331	0.326	0.414	0.312	0.331	0.334
2003	0.547	0.316	0.669	0.280	0.315	0.340	0.301	0.228	0.338	0.268	0.243	0.310
2004	1.111	0.311	0.311	0.432	0.315	0.340	0.301	0.228	0.338	0.268	0.243	0.310
2005	0.933	0.324	0.317	0.430	0.318	0.340	0.301	0.228	0.338	0.268	0.243	0.310
2006	1.013	0.715	0.324	0.309	0.371	0.311	0.284	0.269	0.300	0.259	0.347	0.361
2007	1.214	1.106	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2008	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2009	1.075	0.241	0.717	0.133	0.279	0.281	0.332	0.301	0.334	0.332	0.333	0.364
2010	0.912	0.603	0.253	0.408	0.443	0.233	0.243	0.234	0.332	0.333	0.333	0.463
2011	0.933	0.710	0.312	0.411	0.311	0.367	0.124	0.283	0.312	0.213	0.309	0.273
2012	0.747	0.410	0.253	0.433	0.384	0.333	0.233	0.233	0.312	0.244	0.213	0.410
2013	0.811	0.914	0.244	0.218	0.210	0.343	0.144	0.143	0.344	0.213	0.314	0.310
2014	0.811	0.914	0.244	0.218	0.210	0.343	0.144	0.143	0.344	0.213	0.314	0.310
2015	1.246	1.111	0.811	0.364	0.410	0.443	0.313	0.313	0.310	0.310	0.463	0.412
2016	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2017	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2018	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2019	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2020	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2021	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2022	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2023	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2024	1.246	1.111	0.811	0.364	0.410	0.443	0.313	0.313	0.310	0.310	0.463	0.412
2025	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2026	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2027	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2028	1.130	0.721	0.322	0.333	0.436	0.344	0.344	0.308	0.322	0.311	0.413	0.448
2029	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2030	0.038	0.843	0.311	0.333	0.436	0.441	0.271	0.124	0.330	0.350	0.444	0.341
2031	1.130	1.443	0.324	0.368	0.443	0.424	0.478	0.338	0.448	0.424	0.570	0.481
2032	1.130	1.443	0.324	0.368	0.443	0.424	0.478	0.338	0.448	0.424	0.570	0.481
2033	1.130	1.443	0.324	0.368	0.443	0.424	0.478	0.338	0.448	0.424	0.570	0.481
2034	1.130	1.443	0.324	0.368	0.443	0.424	0.478	0.338	0.448	0.424	0.570	0.481



8.- ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Para desarrollar y aplicar WEAP en la cuenca del proyecto Aducción de recursos hídricos Mururata se comenzó por crear el área de trabajo mediante una representación gráfica de la aducción con punto de partida en el río Palcoma y su distribución a las diferentes comunidades beneficiadas a lo largo del río La Paz o Río Abajo (modelación base).

En síntesis el modelo WEAP se ajusta adecuadamente a las características hidrogeológicas de la cuenca y nos permite generar los caudales en (m³/s) que serán utilizados en el proyecto como datos de entrada para establecer la disponibilidad del recurso hídrico que se tiene para la aducción (tabla 1). Cabe recalcar que debido a restricciones de tipo ambiental se utilizará el caudal como promedio diario, menor al 20% del caudal mínimo diario del río, con un período de retorno de 5 años.

En esta representación, el río Palcoma es el principal involucrado en el aporte de agua. Las demandas son atribuidas a las localidades situadas a lo largo del río La Paz, mismo que recibe las descargas de las distintas localidades.

A partir de esta modelación se crearán escenarios para el análisis de distintas suposiciones planteadas en el proyecto.

La primera suposición plantea la creación de un escenario de referencia para el cálculo de oferta y demanda dentro del proyecto, a nivel de los patrones de crecimiento poblacional. A continuación se plantea el análisis de la variación de la demanda introduciendo un área de demanda agrícola dentro del proyecto para examinar las variaciones de demanda satisfecha o cubierta cuyo análisis posterior analizará los cambios en la demanda debido al cambio de prioridades de demanda de distribución.

El siguiente escenario examina la variación oferta-demanda si se crean sitios de demanda desagregada, desagregando así también el

consumo del agua según los usos de agua para las actividades diarias, y a partir de este un siguiente escenario que pretende mostrar que ocurre si se produce un cambio en las políticas de uso de agua (manejo de la demanda) como por ejemplo la introducción de nuevas tecnologías inodoros y duchas ahorradores, que puedan significar en un ahorro del suministro. A continuación se planteará un nuevo escenario que contempla la variación natural del clima y cómo este afecta en la demanda y los cuerpos de agua y finalmente se pretende determinar el análisis de la calidad del agua en el proyecto según las funciones establecidas en WEAP y los costos del proyecto. (Diagrama 1).

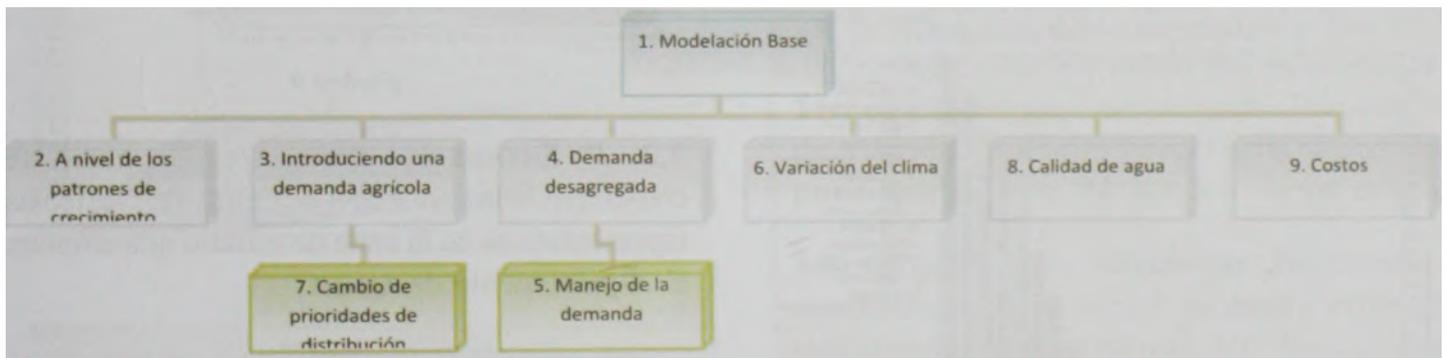


Diagrama 1

9.- RESULTADOS

9.1.-1° Escenario. Los resultados del Escenario 1 o modelación base muestran que la demanda de agua alcanzará su máximo valor en 2034 con un valor de 47674895,70 m³, siendo la menor demanda la de la población de Huancarani con un valor de 3680,09 m³ y la mayor de las demandas para la población de Nuevas Urbanizaciones con un valor de 1583074,62 m³ (fig. 7).

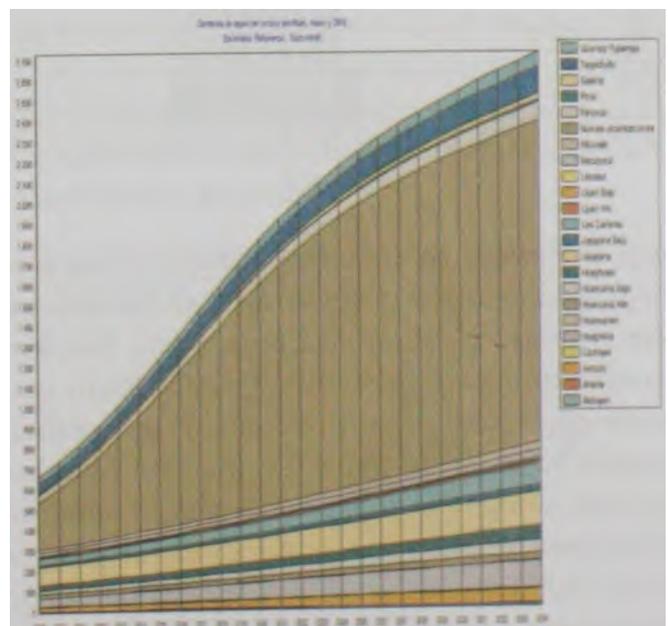


Figura 7

Es interesante señalar que el modelo permite visualizar si se es capaz de entregar agua a sus objetivos mediante la función demanda no satisfecha. En el proyecto Aducción de Recursos Hídricos Mururata se ha definido como objetivos a ser cubiertos las poblaciones ubicadas a lo largo de Río Abajo de la ciudad de La Paz.

La demanda no satisfecha en el proyecto empieza a notarse a partir del año 2024 como se muestra en la figura 8. Cabe recalcar que esta demanda no satisfecha es proporcional en todas las poblaciones al tener estas la misma prioridad de distribución.

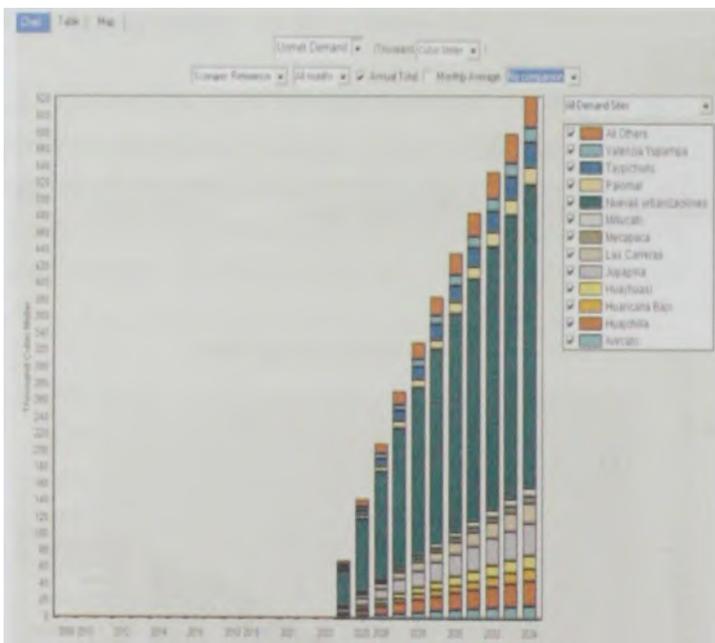


Figura 8

9.2. 2° Escenario. En este escenario se varió la proyección de la población definiendo un crecimiento poblacional según una función predeterminada en WEAP (Growthfrom) que proyecta la población por el método geométrico (como se ve en la figura 9). En este caso los valores se incrementan mucho más, notándose la escasez de agua a partir del año 2016, esto es ocho años antes de lo esperado en la modelación base por lo que se aprecia un manejo más exacto de las proyecciones poblacionales por el método logístico utilizado en la modelación base que

según la función (Growthfrom) predeterminada por WEAP, la cual, sobre estimaría estos valores, siendo sin embargo útil para estimaciones a priori en distintas modelaciones.

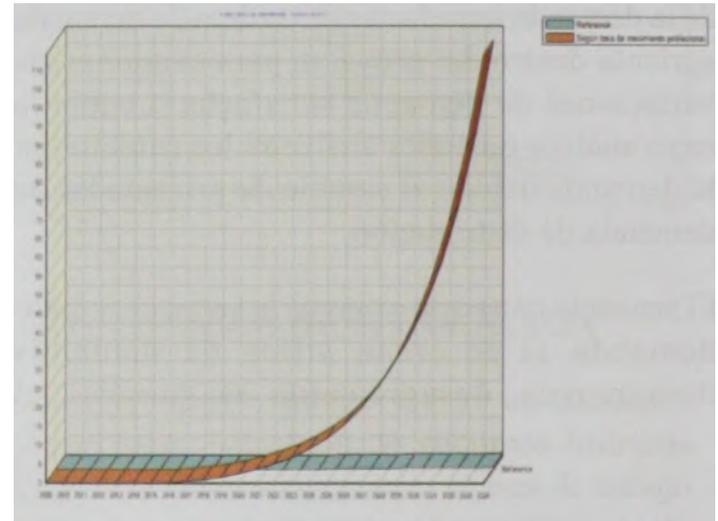


Figura 9

9.3. 3° Escenario. Para este escenario se contempla la introducción de demandas agrícolas representativas en la zona de estudio que amplían el requerimiento de agua.

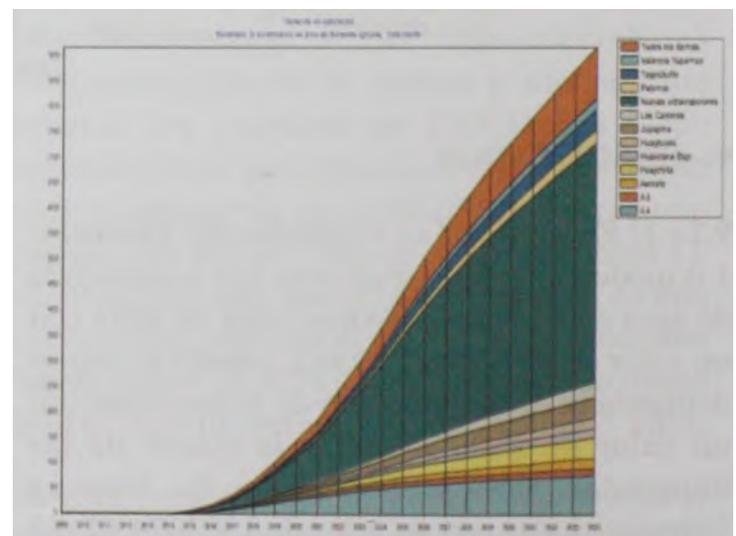


Figura 10

En este caso la figura 10 muestra un déficit de agua tan temprano como el año 2015 razón por la cual no sería aconsejable considerar las áreas agrícolas dentro del estudio de abastecimiento si no más bien con una prioridad de suministro secundaria o como riego con aguas residuales tratadas.

9.4. 4° Escenario (Demanda desagregada). Debido al hecho de que el sitio de Nueva Urbanizaciones es por mucho el mayor demandante de agua y por tanto el con mayor escasez en el proyecto, se disoció los usos de agua más frecuentes de este para analizar el impacto de esta división, los cuales son los siguientes: Agua para aseo personal (duchas), agua para eliminación de excretas (inodoros), agua para lavado de ropa y limpieza en general (limpieza) y agua para la preparación de alimentos y consumo (cocina).

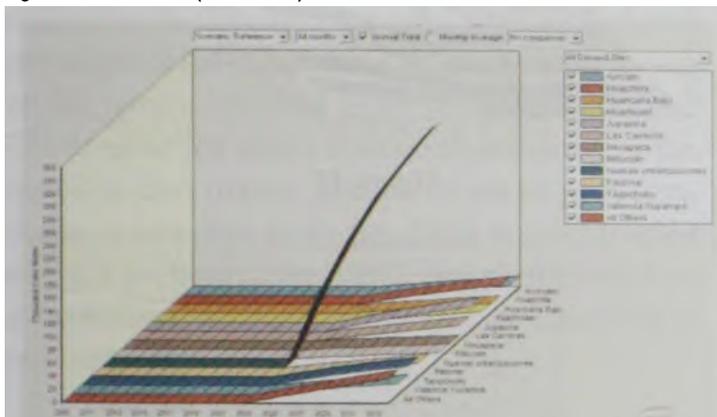


Figura 11

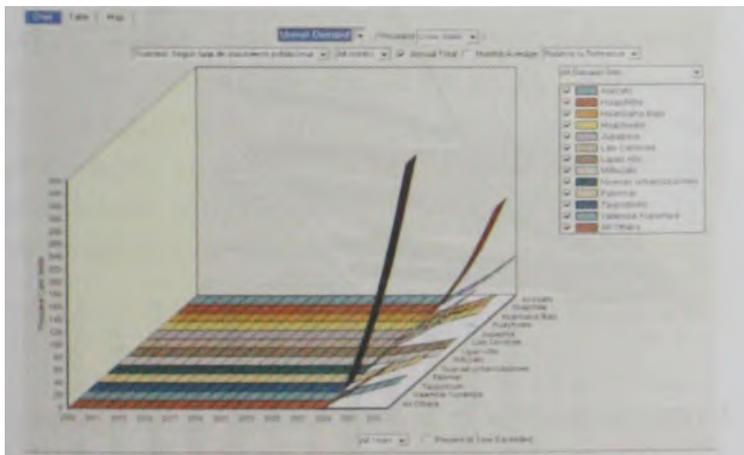


Figura 12

Las figuras 11 y 12 pretenden mostrar la rebaja en la demanda de agua (en especial de nuevas urbanizaciones) de la modelación base (cuyo déficit comienza en 2024) respecto a la de demanda desagregada cuyos porcentajes no satisfechos comienza en 2029, mostrando un incremento en el porcentaje cubierto y una deficiencia de tan solo seis años (una disminución a comparación de los anteriores escenarios).

9.5. 5° Escenario (Manejo de la demanda). A partir del anterior escenario se muestra que ocurre si la introducción de nuevas tecnologías, instalación de inodoros y duchas de bajo consumo de agua, se hace efectiva en el proyecto.

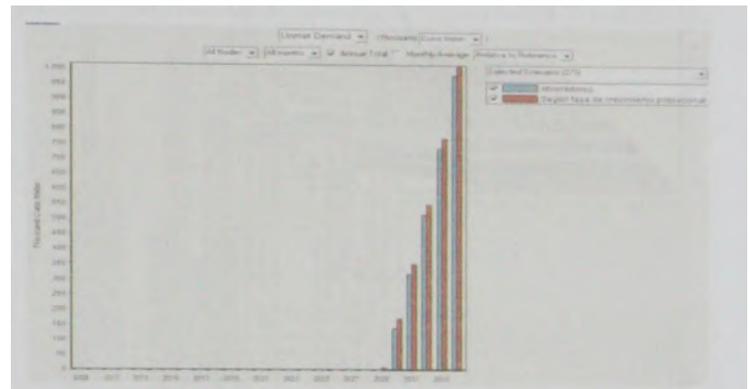


Figura 13

La figura 13 realiza una comparación de la demanda no satisfecha entre los escenarios 4 y 5 (ahorradores) quedando demostrado que el uso de nuevas tecnologías beneficiaría al proyecto pues supone un déficit de agua menor.

9.6. 6° Escenario (Variación climática). A continuación se planteará un nuevo escenario que contempla la variación del clima y cómo este afecta en la demanda y los cuerpos de agua que servirán de suministro para las distintas poblaciones contempladas en el proyecto. Para este escenario la estructura de la demanda permanece constante y lo que varía esta vez es el suministro mediante representaciones de las variaciones del clima.

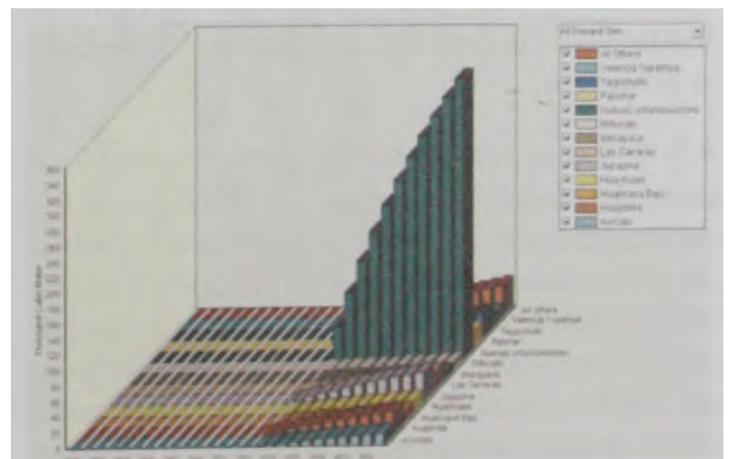
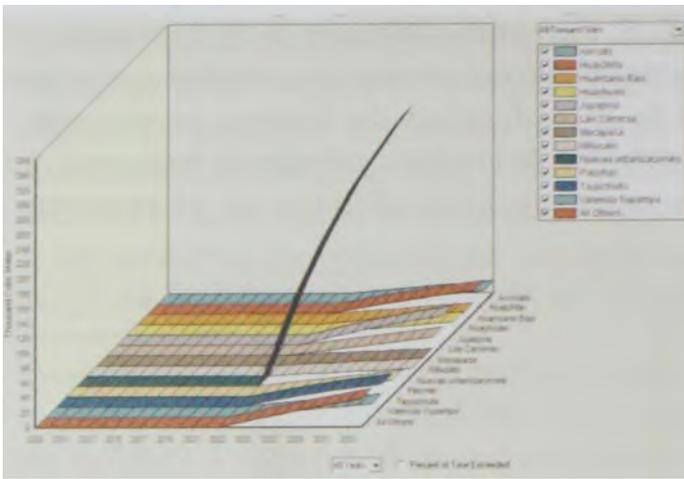


Figura 14



Finura 15

domésticas siempre que estas se encuentren dentro los límites permisibles por la Ley 1333.

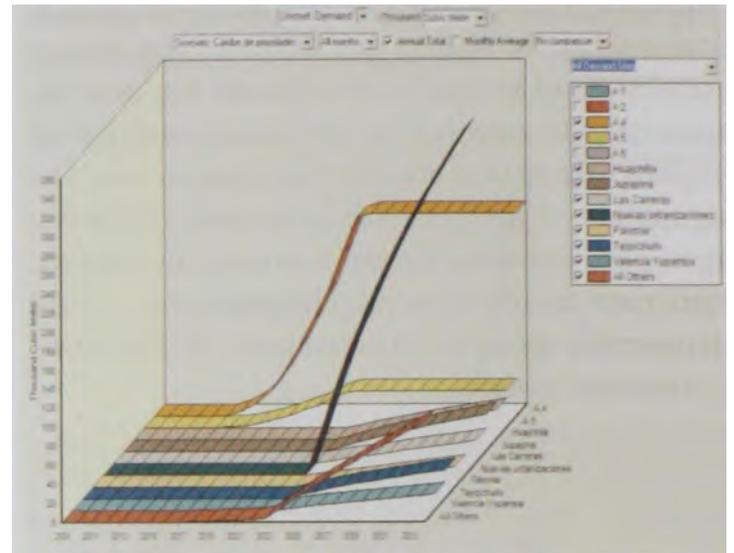


Figura 17

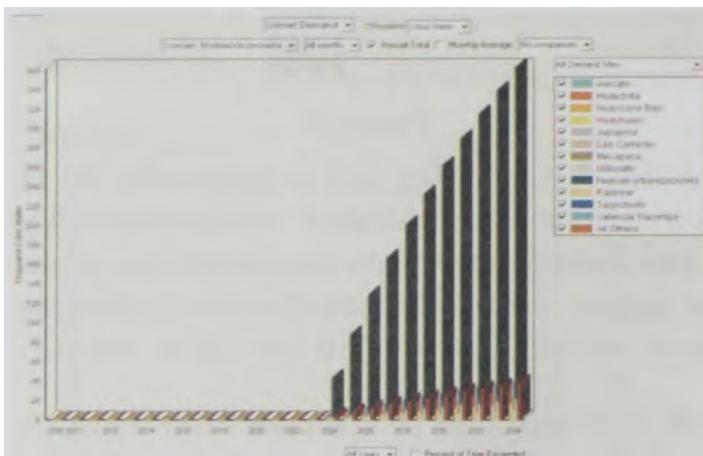


Figura 16

Como se puede apreciar en las figuras 14, 15 y 16; a pesar de los cambios introducidos en la modelación, los escenarios de variación climática optimista y pesimista presenta la carencia de agua en el mismo periodo que el escenario de referencia presentando pequeñas variaciones en los caudales servidos a los distintos puntos de demanda, hecho que no afecta de manera fundamental la carencia de agua en el proyecto, ni la acelera.

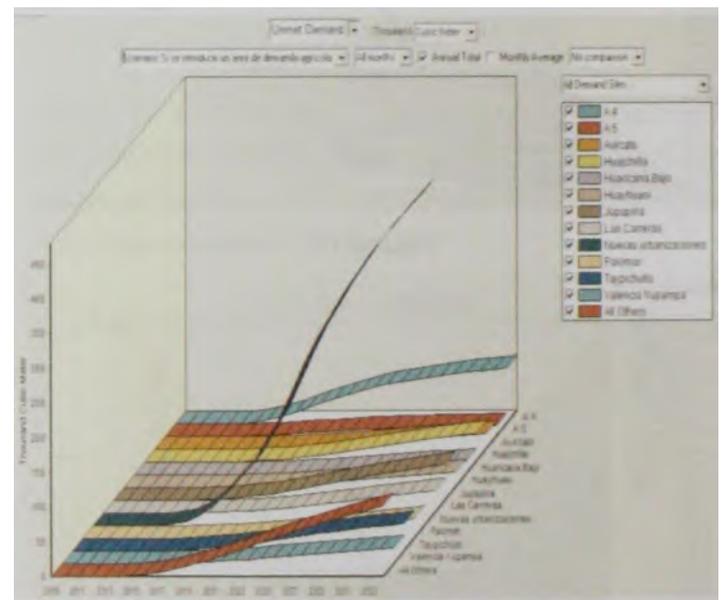


Figura 18

9.7. 7° Escenario. Este escenario fue creado a partir del tercero (demandas agrícolas) con el fin de identificar que pasaría si existiría un cambio de prioridades de demanda de distribución, asignándoles un valor de 1 (Prioridad # 1) a las poblaciones como se hizo inicialmente y un valor de 2 a los sitios de demandas agrícolas cuyo riego puede realizarse con aguas residuales

Como se observa en la comparación de las figuras 17 y 18 se aprecia una carencia de agua en el proyecto a partir del año 2024 en las poblaciones del escenario cambio de demandas de distribución que asignó un valor de prioridad 2 a las áreas agrícolas y de 1 a las poblaciones, mientras que esta carencia se acelera (año 2015) considerando el tercer escenario el cual como se dijo anteriormente asignó valores de prioridad 1 a todas las áreas agrícolas así como a las poblaciones demandantes.

Además se puede observar que en el caso de las áreas agrícolas estas presentan mayor carencia de agua en el séptimo escenario que en el tercero, esto debido nuevamente al cambio de prioridades. Debido a esto se puede concluir que el riego de las áreas agrícolas localizadas en la zona del proyecto deberá realizarse con un uso racional de agua del río como es costumbre o realizar el riego solamente mediante el riego a secano.

9.8. 8° Escenario (Calidad del agua). Se muestran los valores de polución generados por cada sitio de demanda según sus contribuciones per cápita a los efluentes y cómo estos influyen en los parámetros del agua superficial del río. Claramente los sitios más contaminantes serán aquellos con mayor población en el proyecto, como se observa en la fig. 19 la concentración en mg/l del parámetro DBO va incrementándose a medida que se tiene la descarga de las distintas poblaciones.

A continuación se observan las cargas de aporte al río en el parámetro DBO de las distintas comunidades. Las mayores concentraciones se dan en el sitio de demanda Nuevas Urbanizaciones, en este (como en todo el proyecto) se observa nuevamente como la población mayoritaria de este influye en la cantidad de contaminación que se aportará al río.

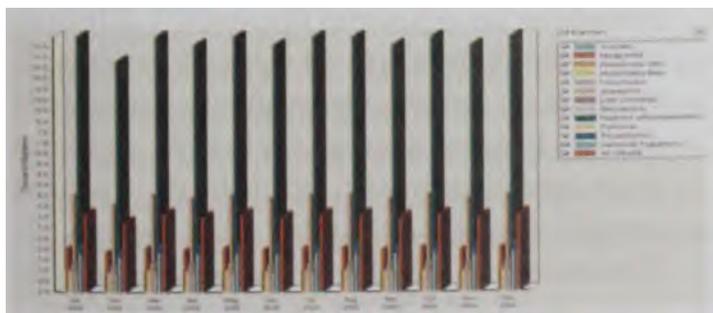


Figura 19

Finalmente se analizarán 2 opciones, la primera pretende mostrar la incidencia de colocar una planta de tratamiento en el sitio de demanda Nuevas Urbanizaciones. La figura 20 compara los valores de DBO en el caso que no se tenga

una planta de tratamiento (valores en rojo) para el año 2009 y la aparición de esta en el año de inicio de operaciones 2010 (valores en verde).



Figura 20

Como se puede observar en la figura la introducción de una planta de tratamiento con un valor de remoción de DBO del 90% garantiza que el agua tratada residual en relación con su aptitud de uso tendrá una clasificación general de B (Clase "B") según el reglamento en contaminación hídrica de la ley de medio ambiente.

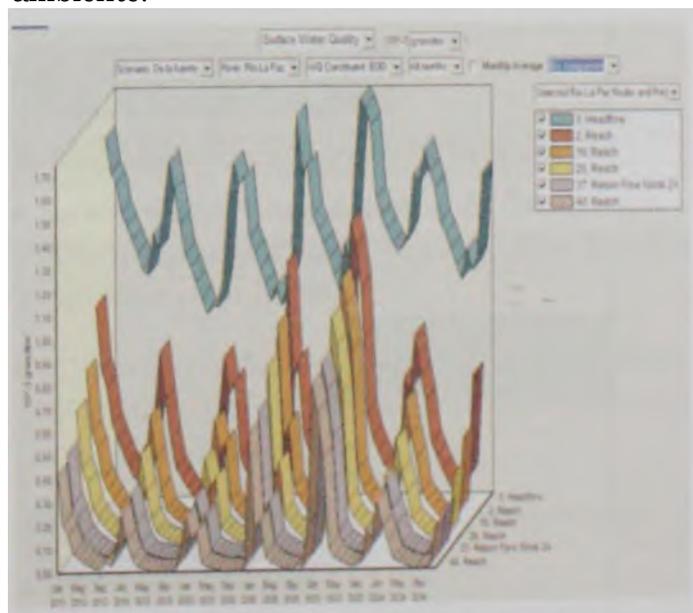


Figura 21

Para concluir con este análisis, la segunda opción examina que pasaría si en lugar de una sola planta se introducen plantas o procesos de tratamiento con una eficiencia del 70% en cada comunidad del área en estudio. La figura 21 muestra la calidad de agua desde el año 2010 en el cual comienza la remoción del 70% de la DBO en las comunidades.

Como se ve en la figura debido a la eficiencia de la remoción y la colocación de sistemas de tratamiento en cada población la contaminación en el río disminuye considerablemente a lo largo de su cauce debido a la disminución de contaminación en cada población así como por la recuperación del río por el proceso de re-aireación.

9.9.9° Escenario (Costos). Como último escenario se pretende mostrar la rentabilidad del proyecto a partir de la introducción de los costos de inversión fijos y variables de operación así como los beneficios adquiridos a través del cobro de una tarifa aplicada por m3 de agua de consumo.

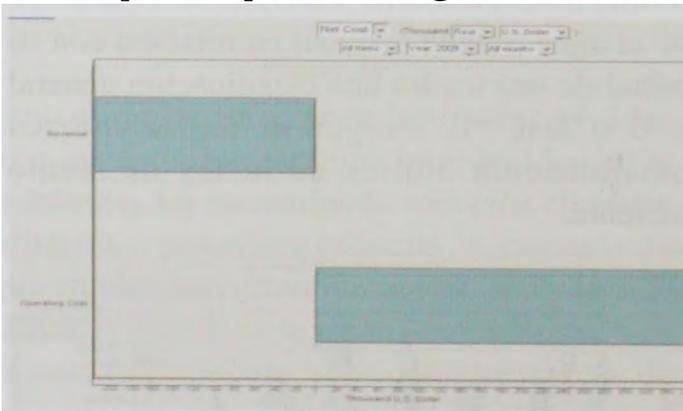


Figura 22

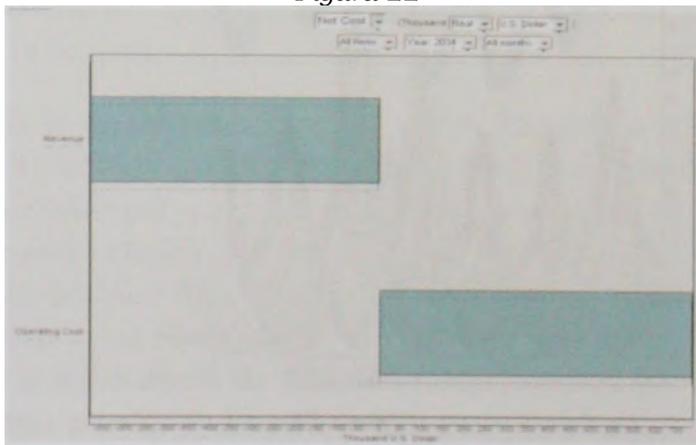


Figura 23

La figura 22 permite advertir que en el año de inicio de operaciones 2009 la inversión por costos de operación (barra inferior) será mayor a los beneficios.

Esta situación es revertida el último año de operaciones 2034 como se aprecia en la figura 23 la cual muestra un porcentaje mayor del beneficio acercándose a los costos de inversión.

10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones del proyecto:

- Se ha establecido la deficiencia de agua para las comunidades involucradas en el proyecto a partir del año 2024.
- Debido al punto anterior se pudo observar, en el escenario de demanda desagregada, que dicha herramienta es clave para el análisis detallado, pues al desagregar esta por sus usos, se estimó que se tendrá un 19% más de demanda satisfecha para el año 2034. Este porcentaje sube aún más, 32%, en el escenario de manejo de la demanda considerando un ahorro en el manejo del agua de los componentes sanitarios como duchas e inodoros.
- Para la falta de agua en el proyecto se deberán considerar las siguientes opciones: 1. Efectuar el estudio de trasvase de cuencas vecinas. 2. Realizar un tratamiento profundo y adecuado del Río Karpani (cercano a la obra de toma) para considerar la opción de futuras ampliaciones con aguas de este río. 3. Finalmente el estudio de la construcción de una represa a fin de incrementar los caudales de abastecimiento.
- Las consideraciones hechas en el escenario de variación del clima debido al cambio climático muestran que este, en el escenario más pesimista, reducirá en una pequeña

proporción, menos del 1%, el suministro para las comunidades.

- Se recomienda que el riego de las áreas agrícolas localizadas en la zona del proyecto sea realizado con un uso racional de agua del río o solamente mediante el riego a secano.
- Para tener una demanda cubierta al 100% al final del año de vida útil, la población en las nuevas urbanizaciones deberá aumentar paulatinamente con el área a ser urbanizada la cual debería estar limitada hasta llegar a un máximo de 191 (Ha) urbanizadas.

Conclusiones acerca del modelo:

- Si bien WEAP es una excelente herramienta a la hora de pensar en planificación su uso en cambio climático, usando el método de los años de agua, es insuficiente debido a la simplicidad de los conceptos para el cálculo de los años hidrológicos que dependen meramente de una variable de incremento o decremento en la precipitación y no así en la gran cantidad de parámetros necesarios para su evaluación. Por lo que para un análisis profundo se recomienda trabajar con el método hidrológico incorporado que tiene WEAP (muy recomendado) y no así con el método de los años de agua.
- En el escenario de nivel de los patrones de crecimiento poblacional se observa que dicha función sobredimensiona la demanda, siendo no aconsejable el uso de esta función para un análisis preciso pero si para una estimación rápida.
- El análisis de calidad de agua que ofrece WEAP es amplio y variado permitiéndonos modelar con buena precisión las condiciones de un río y los efluentes a ser tratados, así como nos permitirán apreciar un método efectivo de tratamiento de aguas.

- Una herramienta necesaria a la hora de pensar en escasez del recurso hídrico es la de desagregar la demanda mediante usos y centros poblacionales pues se evidenció una reducción en la demanda de agua al implementar este escenario.
- La variación de tipos de gráficos en los resultados del proyecto tuvo el propósito de indicar las diferentes posibilidades para la elección de los mismos, por lo tanto, se recomienda hacer uso de estos según la conveniencia de cada usuario.
- Sin duda la principal ventaja de la utilización del modelo WEAP es la facilidad para desarrollar escenarios que exploran posibilidades en el manejo de los recursos hídricos, permitiendo la elección del nivel de complejidad según la habilidad del modelador o la accesibilidad a los datos requeridos.
- Se recomienda el uso de WEAP como una herramienta para proyectos de planificación por los gobiernos municipales y departamentales.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA

10.1. Fuentes de información

- Programa Nacional de Cambios Climáticos.
- www.weap21.org. Sistema de Evaluación y Planificación del Agua, Stockholm Environment Institute.
- Dirección de Saneamiento Básico y Vivienda-Secretaría Departamental de Obras- Prefectura del Departamento de La Paz.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

10.2. Bibliografía

- Bedient Philip B-Huber Wayne C, 1988, Hydrology and Floodplain Analysis, Rice University-University of Florida.
- Capra J., Guido, 1988, Ingeniería Sanitaria (Alcantarillado Sanitario y Pluvial), Primera Edición, UMSA, La Paz-Bolivia.
- Chereque Morán Wendor, 2000, Hidrología, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- FAO, 2002, Políticas e Instrumentos de la Gestión del Agua en la Agricultura, Volumen 1.
- Fernández Vela Efraín, 2002, Análisis de escenarios climáticos para Bolivia, UMSA, La Paz-Bolivia.
- (FONDEF) Fondo de Investigación y Fomento de la Comisión Científica y Tecnológica de Chile, 2004, Desarrollo de un modelo de calidad de agua en ríos para la evaluación de los efectos de los efluentes y de las modificaciones en el caudal, Centro de Ciencias Ambientales, EULA, Concepción-Chile.
- Gregory L. Morris Engineering & ASSOCIATES, 2008, Aducción de Recursos Hídricos Mururata.
- INE, 2005, Bolivia: Atlas estadístico de Municipios, La Paz-Bolivia.
- IHH-IRD, 2007, Deshielo de la cuenca del Tuni Condoriri y su impacto sobre los recursos hídricos de las ciudades de La Paz y El Alto, Programa Nacional de Cambios Climáticos, La Paz-Bolivia.
- Mendoza Rodríguez Javier, 2005, Estudio Hidrológico de la cuenca del Río Palcoma, Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata, La Paz-Bolivia.
- Salas Rada Edgar, 2001, Hidrología aplicada, UMSA (Curso de Post grado en Ingeniería sanitaria y ambiental), La Paz-Bolivia.
- (SEI) Stockholm Environment Institute, 2007, Guía del Usuario WEAP, Boston-US. <http://www.weap21.org/UserGuide>.
- (SEI) Stockholm Environment Institute, 2007, Tutorial en español WEAP, Boston-US.
- (SEI) Stockholm Environment Institute, 2008, Tutorial en inglés WEAP, Boston-US. <http://www.weap21.org/Tutorial>.
- (SEI) Stockholm Environment Institute, 2009, Guía metodológica de WEAP, Boston-US.