

Vulnerabilidad Hídrica del Gran Córdoba ante escenarios de sequías y análisis de alternativas de provisión de agua

Erica Lopez¹, Gabriela Pintos, Mariano Corral¹ y Andrés Rodríguez^{1,2}

¹Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Fecha de recepción del manuscrito: 10/03/2020

Fecha de aceptación del manuscrito: 27/04/2021

Fecha de publicación: 30/04/2021

Resumen—En este trabajo se presenta un análisis preliminar de la situación actual del abastecimiento de agua al Gran Córdoba y los departamentos de la región central de la Provincia, en donde se han estudiado fuentes alternativas de provisión y las respectivas obras con el objetivo de asegurar el suministro de agua potable a la población actual y permitir el desarrollo de la región en un futuro a mediano y largo plazo. En este sentido, se actualizan estudios previos, y se analizan diferentes alternativas para garantizar la provisión de agua potable a mediano y corto plazo en condiciones de escasez hídrica.

Palabras clave— sequías, abastecimiento de agua potable, inundaciones, provisión de agua, suministro.

Abstract—This paper presents a preliminary analysis of the current situation of water supply to Gran Córdoba and the departments of the central region of the Province. Alternative sources of supply and the respective works have been studied with the aim of ensuring the supply of drinking water to the current population and allowing the development of the region in the medium and long term. In this sense, previous studies are updated, and different alternatives are analyzed to guarantee the provision of drinking water in the medium and short term under conditions of water scarcity.

Keywords— droughts, drinking water supply, floods, water supply, supply.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Córdoba se encuentra sometida a importantes variaciones en sus ciclos hidrológicos, con alternancia de ciclos secos y húmedos, y distinta distribución espacial, lo que implica que la región esté expuesta a riesgos tanto por exceso (inundaciones, especialmente en el SE), como por falta de agua (sequías, especialmente en el NO). A su vez, el incremento poblacional especialmente en el Gran Córdoba ha provocado algunos conflictos en los usos del recurso hídrico (e.g. riego vs. agua para consumo humano).

La disponibilidad de agua no se encuentra necesariamente garantizada en condiciones de ser aprovechada para consumo humano en todas las localidades, especialmente en el NO provincial por escasez de fuentes superficiales y en el SO por calidad en el agua subterránea con presencia de Arsénico. En algunas zonas de

la provincia, el abastecimiento de agua es muy complejo, ya que no solo se requiere del recurso natural para satisfacer las demandas en el tiempo y espacio, sino que también se requiere de la infraestructura hídrica para poder tratarla y distribuirla.

En las últimas décadas se han presentado situaciones de sequías prolongadas en el tiempo y en otros casos anegamientos e inundaciones. En algunas localidades, la falta de recurso hídrico puede afectar su seguridad, desarrollo y sostenibilidad medioambiental.

Para una gestión del agua adecuada y sostenible, se debe llevar a cabo un enfoque integrado, y es fundamental que las decisiones se tomen considerando los distintos usos y gestionando los conflictos entre los distintos sectores involucrados. Por lo expuesto, los estudios y proyecciones de demanda de agua a futuro son necesarios para tener previsibilidad en la gestión de los recursos a futuro.

Área de Estudio y Metodología

En la Fig. 1 se presentan los principales sistemas que sirven en la actualidad de suministro hídrico para la Provincia de Córdoba. La principal fuente de agua para consumo en la región central de la Provincia está constituida por las Cuencas de los Ríos Primero y Segundo.

Le sigue en consumo el sistema del Río Tercero, y por último el sistema Río Cuarto, el cual presenta un consumo significativo en relación a la superficie del sistema, resultado de la gran población que habita la ciudad de Río Cuarto y las actividades económicas que se desarrollan en ella. En la Fig. 1 también se pueden observar las proyecciones a 2030 y 2050 de consumo para cada sistema hídrico en la provincia.

El presente trabajo se centra en lo que se ha denominado Área Metropolitana de Córdoba (Figura 2) lo que incluye la totalidad del Departamento Capital, gran parte del Departamento Colón y casi la totalidad del Departamento Punilla.

En una primera instancia se evaluaron las fuentes de abastecimientos actuales y también la disponibilidad existente de otras fuentes de abastecimiento alternativas ya conocidas o estudiadas como el aprovechamiento del Río Anisacate (AyE, 1975), el abastecimiento desde el Río Tercero (Fundación Benito Roggio, 2012 y Reyna *et al.* 2012) o la obra de provisión desde el Río Paraná en Coronda, Provincia de Santa Fé.

Las fuentes de agua potable como el Río Primero (Suquía), Anisacate (o Anizacate) y el Río Los Molinos, suministran a gran parte de las localidades del Departamento Colón. Las localidades de Colonia Caroya y Jesús María se abastecen localmente de los Ríos Carnero y Jesús María respectivamente, por lo que no han sido tenidas en cuenta en el presente trabajo. Con respecto al departamento Punilla, hasta la localidad de La Cumbre pertenece a la cuenca del Embalse San Roque, pero las localidades hacia el Norte se abastecen de sistemas locales.

En una primera instancia, se evaluaron las fuentes de abastecimientos actuales y también la disponibilidad existente de otras fuentes de abastecimiento alternativas como el aprovechamiento del Río Anisacate y del Río Tercero, trabajo similar al realizado por la Fundación Benito Roggio (2012), Reyna *et al.* (2012) entre otros.

Para cada cuenca se realizó el balance particular considerando como situación inicial el año 2020 y como situación futura el año 2050, ambos escenarios demográficos fueron expuestos a diferentes disponibilidades hídricas como un escenario “normal” considerando el módulo de los ríos y un escenario crítico o de una sequía “probable” considerando el menor caudal anual de las series estudiadas, es decir el caudal mínimo histórico anual.

Sistema de Abastecimiento Actual del Gran Córdoba

El actual sistema de aprovechamiento de los recursos hídricos para el Gran Córdoba tiene como abastecimiento a las cuencas altas de los Ríos Suquía y Los Molinos, las que se encuentran actualmente reguladas por los diques San Roque y Los Molinos, respectivamente. A través de diferentes obras hidráulicas (canales y conductos de importante envergadura) el agua cruda llega a las Plantas Potabilizadoras Suquía y Los Molinos respectivamente, donde es realizado el proceso de potabilización.

Cada planta potabilizadora abastece de agua a un sector de la ciudad de Córdoba. Así, el agua producida por la Planta Suquía alimenta la zona al norte del Río Suquía y al oeste de la Cañada. Posee una capacidad de abastecimiento del orden de 5 m³/s. La Planta Los Molinos abastece al

sector Sureste de la ciudad con una capacidad de abastecimiento de 2 m³/s. La planta Los Molinos aporta el 30 % y la Planta Suquía el 70% de agua potable a la capital provincial.

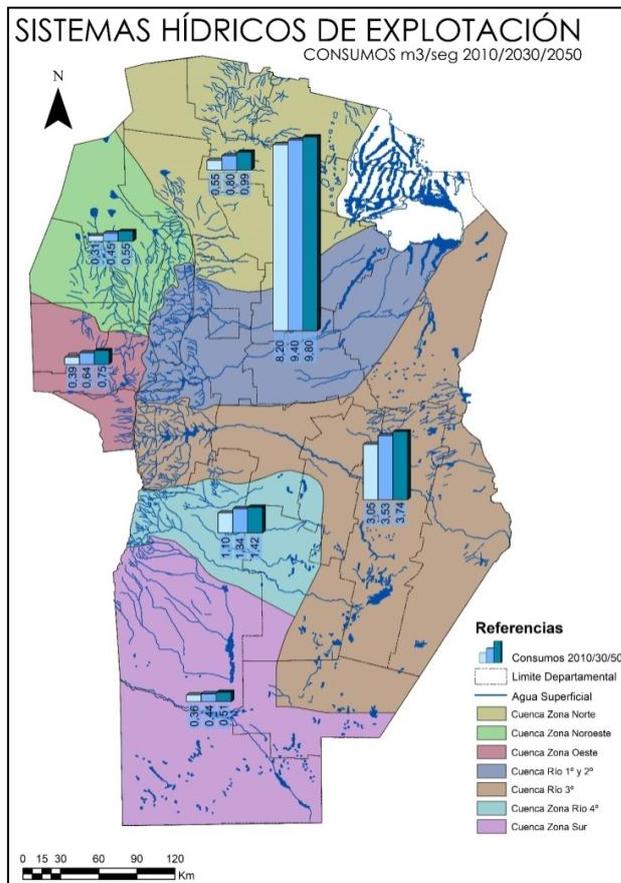


Fig. 1: Sectores Hídricos de Explotación (Fuente: APRHI – SRH) (2019).

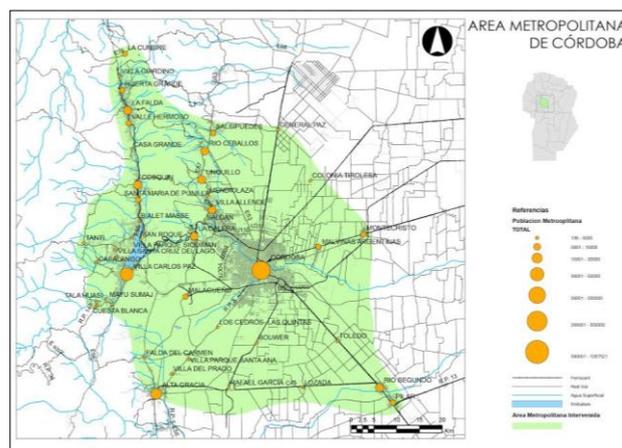


Fig. 2: Área Metropolitana de Córdoba (Fuente: APRHI – SRH).

ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA E IDENTIFICACIÓN DE SEQUIAS

Entre los antecedentes de estimación de la oferta hídrica (y demanda) para el Gran Córdoba se destacan los trabajos de Moya (2004), Castelló *et al.* (2000), Castelló (2009), Moya *et al.* (2010) y Reyna *et al.* (2012).

En condiciones de crecimiento demográfico constante es de suma importancia prever cuál será el aporte de agua potable neto que producirán los ríos durante los ciclos secos de la región. La región central del país, presenta variaciones

en las condiciones hidro-meteorológicas las cuales generan intervalos secos y húmedos. Como resultado de estos cambios, se evidencian fluctuaciones en los niveles de los ríos y lagos que son objeto de estudio para entender la dinámica de su comportamiento.

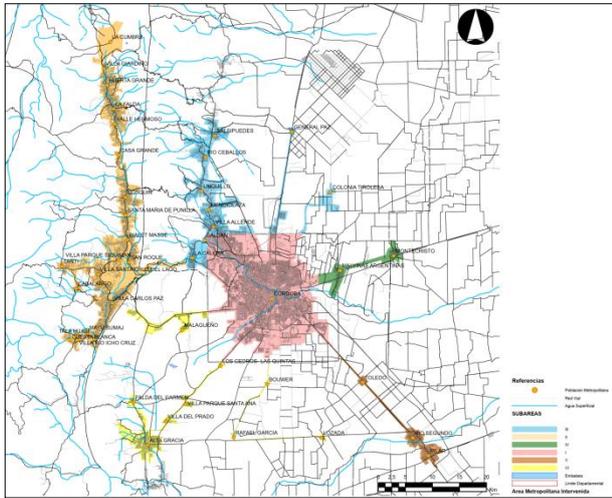


Fig. 3: Subregiones del Área Metropolitana de Córdoba (Fuente: APRHI – SRH).

TABLA 1: DEMANDAS ESTIMADAS POR SUBREGIÓN EN M³/S

(FUENTE: APRHI)

Subarea	Identificación	2015	2030	2050
I	Capital	7,96	8,63	9,16
II	Punilla	0,90	1,21	1,96
III	Sierras Chicas	0,82	1,40	2,93
IV	Zona Este	0,13	0,25	0,59
V	Río Segundo	0,18	0,24	0,35
VI	Santa María	0,41	0,62	1,16

Para la región semiárida de Argentina, los análisis de series de caudales, registros sedimentológicos y otros indicadores muestran importantes variaciones en las condiciones hidroclimáticas desde la década del 70 al presente. Este proceso ha desencadenado en el aumento abrupto del nivel de la laguna Mar Chiquita, el cual fue impulsado por un aumento en la descarga del sistema Salí-Dulce. Además, este cambio hidrológico regional fue consistente con las tendencias hidroclimáticas del siglo XX observadas en el sureste de América del Sur.

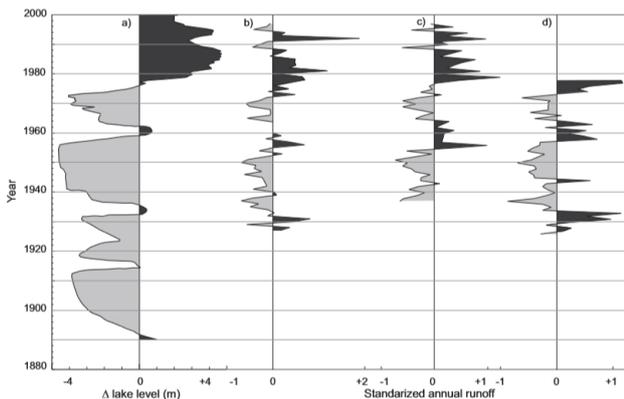


Fig. 4: Niveles de la Laguna Mar Chiquita en comparación con los niveles de los ríos Suquía (b), Xanaes (c) y Dulce (d). Niveles altos indicados en negro y los niveles bajos en gris. (Fuente: Piovano et al., 2002).

Este cambio en los regímenes de precipitaciones fue estudiado en diferentes oportunidades. Díaz (20016) estudió las sequías hidrológicas de las cuencas de la región centro del país. En todas las series se identificaron períodos comunes de sequías (severas en duración y magnitud) en las décadas del '30, '40 y '60. A partir de 1976 se observan períodos prolongados de años húmedos en todas las cuencas, (excepto las de los ríos Juramento y Colorado) y períodos de sequías de menor duración a las identificadas en el período anterior. En esta etapa se detectaron los máximos caudales históricos para todas las cuencas.

En Vicario (2013) se estudiaron las sequías hidrológicas y meteorológicas de las cuencas del Río San Antonio y Carcarañá. En base al índice SDI (Streamflow Drought Index), pudo observarse en el caso de la estación de Pueblo Andino (Río Carcarañá) sequías suaves en torno a los períodos 1982-1983, 2003-2006, 2008-2009. Desde el año 1985 hasta 1990, en el año 2010 y parte del 2011 ocurrieron períodos de sequías suaves y moderadas. Además, se registró solo un periodo seco con un evento severo entre los años 1994 y 1997. Mas resultados se incluyen en Vicario et al. (2015).

Análisis de Sequías en Ríos de la Provincia de Córdoba

En este estudio, se expone un resumen de los análisis de las series de caudales para los Ríos Anisacate, Tercero (o Ctalamuchita), Los Molinos y Suquía de la Provincia de Córdoba.

Con los datos obtenidos de distintas fuentes, entre ellos la BDHI (de Recursos Hídricos de la Nación), se crearon series de caudales medios anuales para cada una de las cuencas estudiadas en el año hidrológico (julio a junio). Para cada serie, se identificaron los caudales mínimos históricos registrados, y se presentan en la siguiente tabla (Tabla 2).

TABLA 2: CAUDALES MÍNIMOS POR CUENCA EN M³/S

Cuenca	Período	Año	Q mín
Ctalamuchita	1913 - 2018	1915	9,12
Suquía (en San Roque)	1925 - 2018	1950	3,74
Los Molinos	1935 - 2018	1971	2,97
Anisacate	1925 - 1980	1975	1,54

Si se realiza un análisis comparativo de los caudales en diferentes ventanas de tiempo, se pueden identificar los períodos regionales en donde se han producido eventos asociados a sequías, remarcados en color rojo en la Fig. 5.

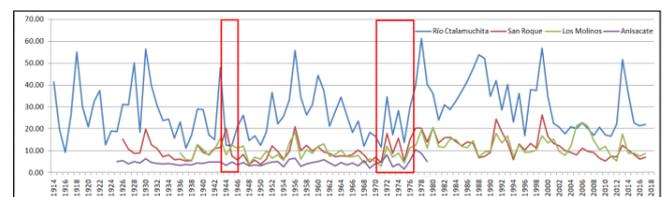


Fig. 5: Series de caudales de los ríos Suquía, Segundo, Tercero (Ctalamuchita) y Anisacate para el período desde 1914 hasta 2018.

Se observa en la Figura 5 que el período seco más persistente observado es de 6 años (Tabla 3), en donde se registraron caudales mínimos desde finales de la década del '60 hasta mediados de la década del '70.

TABLA 3: CAUDALES PERÍODO 1968/1975

Año	Ctalamuchita m ³ /s	San Roque m ³ /s	Los Molinos m ³ /s	Anisacate m ³ /s	Suma m ³ /s
1968	11.96	8.03	4.48	5.42	29.88
1969	18.38	4.79	6.38	1.94	31.49
1970	16.54	6.94	5.20	4.25	32.94
1971	11.58	4.70	2.96	4.86	24.09
1972	34.74	17.90	12.01	8.15	72.80
1973	17.26	8.71	7.11	2.54	35.62
1974	28.37	15.78	8.95	3.94	57.04
1975	13.78	5.36	4.42	1.54	25.10

Durante finales de la década del '40, más precisamente en el período 1948-1950, se observa en la Figura 5 una sequía de mayor intensidad (caudales más bajos de toda la serie) pero de corta duración (3 años) hacia finales de la década del 40. Dicho período seco afectó a los cuatro ríos, de manera simultánea.

TABLA 4: CAUDALES PERÍODO 1948/1950.

Año	Ctalamuchita m ³ /s	San Roque m ³ /s	Los Molinos m ³ /s	Anisacate m ³ /s	Suma m ³ /s
1948	14.56	3.76	3.99	3.10	25.40
1949	16.79	5.64	6.96	3.56	32.95
1950	12.45	3.76	6.27	3.13	25.62
Prom	14.60	4.38	5.74	3.26	28.00

A partir del análisis realizado, se puede definir el caudal regional mínimo para períodos secos como la suma directa de los caudales mínimos anuales (por año hidrológico) de los 4 (cuatro) ríos en estudio, determinándose así, un caudal de **24 m³/s** asociado a 1 año de permanencia y de **28 m³/s** para 3 años de permanencia.

Influencia del caudal en la calidad del agua

La calidad de agua de los ríos de la Provincia de Córdoba, se ve particularmente influenciada por los efectos antropogénicos de los asentamientos poblacionales a lo largo de sus cursos. En los sectores próximos a estos cursos, se localizan importantes centros poblados que utilizan sus aguas para abastecimiento de agua potable, y a su vez, reciben derraman efluentes cloacales e industriales.

La calidad del agua decrece cuando disminuye el caudal de los ríos de la Provincia de Córdoba. Así, cuando en el Río Tercero los caudales se encuentran por debajo de 10 m³/s se incrementan los niveles de arsénico al límite de los valores admisibles o guías (50 µg/l), de acuerdo al estudio realizado por Larrosa et al. (2007) y Carranza et al. (2009) en el azud de Bell Ville, donde se encuentra la toma de la Cooperativa Sudeste.

BALANCE HIDROLÓGICO POR CUENCA

Con respecto al requerimiento de agua potable, se han estimado mediante análisis de crecimiento de la población y dotaciones de consumo, los caudales demandados a cada sistema. Estos valores han sido contrastados, por un lado, con la producción de las principales plantas de potabilización de agua o diques de derivación en estas cuencas, como por ejemplo Aguas Cordobesas (AACC), Cooperativa Integral de Villa Carlos Paz (Coopi), Cooperativa de Obras y Servicios de Alta Gracia (COSAG), La Cooperativa de Trabajo "Acueductos Centro Limitada" (CoTAC) y la Cooperativa Sudeste en Bell Ville; y por el otro lado se han utilizado los valores disponibles en la Secretaría de Recursos Hídricos de Córdoba.

Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes tablas, siendo estos valores similares a los obtenidos en los antecedentes:

TABLA 5: BALANCE HÍDRICO EN M³/S (AÑO 2020 – SITUACIÓN NORMAL).

Cuenca	Suquía m ³ /s	Los Molinos m ³ /s	Anisacate m ³ /s	Ctalamuchita m ³ /s
Q Aporte	9.5	9.0	4.5	27.0
Q Riego	-2.5	-1.4	-0.5	-4.0
Q Ecológico	-1.0	-0.9	-0.5	-7.3
Q agua potable	-7.7	-2.3	-1.3	-3.4
Balance	-1.7	4.4	2.3	12.3

TABLA 6: BALANCE HÍDRICO EN M³/S (AÑO 2050 – SITUACIÓN NORMAL).

Cuenca	Suquía	Los Molinos	Anisacate	Ctalamuchita
Q Aporte	9.5	9.0	4.5	27.0
Q Riego	-2.5	-1.4	-0.5	-4.0
Q Ecológico	-1.0	-0.9	-0.5	-7.3
Q agua potable	-10.9	-2.5	-1.8	-4.2
Balance	-4.9	4.2	1.8	11.5

CONSIDERACIONES FINALES

Finalmente se pueden realizar las siguientes consideraciones, previo a la presentación de las Obras posibles:

- **Cuenca Río Suquía:** este sistema se encuentra actualmente en déficit, existiendo una demanda insatisfecha de **1,7m³/s** que se puede notar en la zona más vulnerable de Sierras Chicas. Este déficit se profundizará aún más con el incremento de la población dado que el Departamento Colón y Punilla tienen altas tasas de crecimiento, haciendo a este sistema muy vulnerable.
- **Cuenca Río Los Molinos:** el volumen actual disponible es del orden de **4,4m³/s**, lo que representa la disponibilidad del sistema para abastecer la demanda establecida. Debe destacarse que las localidades ubicadas aguas abajo no

utilizan este recurso y aquellas que sí lo hacen, presentan tasas de crecimiento demográfico bajo (Despeñaderos, Río Segundo, Pilar, arroyito, etc.). En este análisis no se han tenido en cuenta las obras de mejoramiento del canal Los Molinos – Córdoba (puente canal y entubamiento). Dicha obra garantiza el transporte hasta la planta Los Molinos de $4 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que dejaría en la actualidad y a futuro un saldo de $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

- **Cuenca Río Anisacate:** existe caudal disponible para la demanda de agua sobre este, sin embargo, al no existir una obra de regulación hace que el balance a través de los valores promedios no sea representativo, pero permite observar la existencia de volumen disponible aunque no estimar su cantidad.
- **Cuenca Río Tercero:** en este sistema, existe un importante caudal disponible para satisfacer demandas adicionales. ya que la demanda a futuro establecida por las poblaciones aledañas, es menor a la oferta hídrica disponible. Si bien el balance es favorable, la factibilidad de avanzar con una eventual provisión de agua al área metropolitana de Córdoba, requiere de estudios topográficos de mayor definición, que en la actualidad se encuentran en fases preliminares

Como reflexión adicional a las presentadas previamente, es importante exponer que a partir del año 2020 habrá un incremento gradual de los caudales, debido a los fenómenos hidrometeorológicos estimados, lo que como consecuencia generará una posible secuencia de obras hidráulicas. Sin embargo, si bien el análisis de caudales medios anuales resulta interesante para la planificación a mediano y largo plazo, el escenario de caudales mínimos es el punto de vista necesario para anticiparse a problemas de provisión. En ese sentido, se ha estimado el balance considerando el aporte mínimo al mismo tiempo en todos los sistemas (simultaneidad), escenario hidrológico que tiene baja probabilidad de ocurrencia, pero no nula. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 7: BALANCE HÍDRICO EN m^3/s (AÑO 2020 – SITUACIÓN MÍNIMA).

Cuenca	Suquía m^3/s	Los Molinos m^3/s	Anisacate m^3/s	Ctalamuchita m^3/s
Q Aporte	3.8	3.0	1.5	9.1
Q Riego	-	-	-	-
Q Ecológico	-0.5	-0.5	-0.2	-3.7
Q agua potable	-10.9	-2.5	-1.8	-4.2
Balance	-7.6	0.0	-0.5	1.3

Del análisis de la disponibilidad hídrica de cada cuenca y bajo el escenario establecido, se concluye que ante la ocurrencia de un período seco sólo el sistema del Río Tercero queda con un bajo remanente, de tan sólo $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y toda la región queda con un déficit del orden de $7 \text{ m}^3/\text{s}$.

OBRAS PROPUESTAS

Con el objeto de cuantificar en una primera aproximación la factibilidad física, técnica y económica de diferentes obras alternativas para la provisión de agua a la Región Metropolitana de Córdoba, se han vinculado las posibles fuentes con el sector central de suministro que se localizaría en el sector Suroeste de la ciudad de Córdoba, por las futuras ampliaciones de la Planta Potabilizadora Los Molinos.

En ese sentido, teniendo en cuenta la topografía existente se han propuesto las diferentes trazas de obra (Figura 6). En algunos casos permitirán conducir el agua hasta la capital por gravedad y en otros, mediante la incorporación de estaciones de bombeo. Para ello, se ha confeccionado un MDE (Modelo Digital de Elevación) de la zona de estudio, pudiéndose utilizar como elemento de apoyo para analizar las ventajas y desventajas de cada alternativa y para la planificación en una primera instancia de las actividades de ingeniería necesarias. Se sintetizan a continuación las alternativas estudiadas:

Alternativa I: Embalse Río III a Gravedad sin Túnel

Esta alternativa tiene como premisa básica el funcionamiento por gravedad y minimización de la cantidad de sifones, túneles y/o puentes, para ello se ha realizado un trazado en planta y en altimetría que básicamente se desarrolla copiando las curvas de nivel del terreno, descendiendo desde la cota 530 m.s.n.m., desde el Embalse de Río Tercero, hasta los 450 m.s.n.m. de la Planta Los Molinos. Este desnivel, permite el funcionamiento a gravedad sin la necesidad de tramos bombeados.

La obra propuesta consiste en un primer tramo desde el Embalse de Río Tercero (cota 530 m.s.n.m) hasta aproximadamente la localidad de Las Bajadas (cota 500 m.s.n.m.), recorriendo 60 Km, y un segundo tramo desde Las Bajadas en dirección noreste, pasando por el sector norte de la localidad de Corralito, con un recorrido de aproximadamente 70km, casi paralelo a las vías del FFCC, hasta la localidad de Despeñaderos (cota 450 m.s.n.m.).

Se propone para el cruce del Río Segundo un sifón o un puente–canal, como el ya construido aguas arriba en la intersección con el Río Anisacate, con una longitud aproximada de 1 Km.

Agua abajo del cruce del Río Segundo (cota aproximada 450m), el tercer tramo continúa en forma paralela al canal Los Molinos–Córdoba hasta llegar a la Planta Los Molinos (cota 445 m.s.n.m.), con una longitud aproximada de 40 Km.

Las principales singularidades de esta obra serían sifones de escasa longitud, menores a 100 m y la obra de cruce del Río Segundo. Esta alternativa tiene como desventaja expropiaciones excesivas. El desarrollo de esta alternativa se encuentra a nivel de **Idea Proyecto**.

Alternativa II: Embalse Río III a Gravedad con Túnel

Esta alternativa, similar a la Alternativa I, también tiene como premisa básica el funcionamiento a gravedad, sólo que para reducir su longitud y ganar pendiente en el primer tramo desde el Embalse de Río Tercero (cota 530 m.s.n.m.) se plantea la construcción de un túnel de 3Km de longitud,

ahorrando 30Km de longitud de la obra. La salida del túnel sería en proximidad a la localidad de Las Bajadas (cota 500 m.s.n.m.).

Desde la localidad de Las Bajadas la obra es similar a la Alternativa I.

Esta alternativa tiene como desventajas las mismas que la Alternativa I.

Alternativa III: Piedras Moras por Bombeo

Esta alternativa, en el primer tramo sigue la traza de la Ruta Nacional N°36 desde el Embalse Piedras Moras (cota 410 m.s.n.m.) hasta la localidad de Las Bajadas (cota 500 m.s.n.m.), mediante la instalación de una estación de bombeo, la cual incrementaría la presión a 90 m.c.a.

Desde la localidad de Las Bajadas la obra es similar a la Alternativa I.

Esta alternativa tiene como desventajas las mismas que la Alternativa I, pero se suma el uso de energía para el sistema del bombeo.

Alternativa VI: Presa Anisacate (Proyecto 1971)

El proyecto original de esta presa se remonta al año 1975, impulsado por Agua y Energía Eléctrica (AyEE). Las obras se ubican sobre el Río Anisacate, el cual se encuentra en el departamento de Santa María, y tiene su nacimiento en las Sierras Chicas de Córdoba.

Dicho proyecto consta de tres grandes componentes: una presa principal, un azud nivelador (Dique Compensador La Bolsa) y una conducción en canal. La finalidad de dicho proyecto era el control de crecidas, la provisión de agua potable, riego y la generación de energía.

El cierre de la presa Anisacate se encuentra 800 metros aguas abajo de la confluencia de los ríos La Suela y San José, dicha ubicación es idónea debido a sus condiciones geológicas y topográficas. El mismo consta de una presa a gravedad, de hormigón, de eje recto con aliviadero de tipo vertedero con disipador tipo trampolín de lanzamiento. La altura máxima del muro desde los cimientos es de 99,5 m y la longitud de coronamiento es de 255 m, generándose un volumen útil de 135 Hm³.

El dique compensador se encuentra ubicado en lo que actualmente es la localidad de Villa La Bolsa, el eje de cierre coincide con la Av. Argentina. Presenta la misma tipología que la presa Anisacate (gravedad). La altura máxima desde los cimientos es de 18 m, la longitud de coronamiento de 133.4 m y el volumen embalsado de 0,5 Hm³.

El canal Anisacate nace en el dique compensador, con una capacidad original de 6 m³/s. La traza prevista tiene una longitud de 9 Km hasta alcanzar el actual canal Los Molinos aguas arriba del puente canal. El canal es de sección rectangular con fondo cóncavo y están previstos 2 sifones para cruces viales.

Esta alternativa tiene como desventaja los posibles conflictos ambientales producto de la construcción de una presa en zona de Sierras, tanto durante la fase de construcción como la de operación. La ventaja de esta Alternativa es que cuenta con estudios a nivel de Proyecto Ejecutivo.

Alternativa VI: Presa Modificada Anisacate (Proyecto 2006)

En el año 2006 la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) a través del Departamento Hidráulica de la Facultad Regional Córdoba (FRC) realizó una actualización del proyecto original, el mismo optimizaba la cota del cierre y la metodología de construcción.

En cuanto a la tecnología constructiva de la presa original, prevista de tipo gravedad de hormigón masivo, se reemplazó por la opción de hormigón compactado a rodillo (HCR) por tratarse de una tecnología notablemente más económica que la anterior.

En paralelo, se analizó el embalse y se determinó que el nivel más económico de presa expresado en términos de caudal regulado, corresponde a un embalse con una cota menor a la anterior, siendo esta nueva cota, 10 metros menor, obteniéndose un volumen de embalse de 92 Hm³. Esta disminución del embalse implica a su vez una disminución de más de 100.000 m³ del volumen de presa, algo que impacta directamente en el costo final de la obra.

Esta alternativa tiene las mismas desventajas que la anterior, pero con impactos ambientales menores debido a que es una presa de menor magnitud. Esta alternativa cuenta con estudios a nivel de Anteproyecto.

Alternativa VII: Bombeo desde Río Coronda-Paraná

Existen diferentes razones para estudiar la posibilidad de traer agua de otros sistemas no tradicionales. En un análisis de macro planificación (a gran escala y a largo plazo) no debe descartarse ninguna alternativa posible. Más aún cuando un área urbana como el Gran Córdoba continuará creciendo y sus fuentes históricas se continuarán degradando producto tanto de procesos naturales como antrópicos, siendo éstos procesos bien conocidos, pero de muy difícil y costosa solución.

Es sabido que expropiar costas de lagos, aplicar tarifas que cubran costos reales, prohibir urbanizaciones y planes de desarrollo urbanístico, son medidas de difícil instrumentación para cualquier gestión política. A esto se le adicionan dos poderosas razones:

- las incertidumbres que se derivan de la reconocida variabilidad climática y del cambio climático (antrópico y natural),
- la pertenencia de las cuencas de suministro de agua al gran Córdoba a una región semiárida, (posee menos agua per cápita que la Rioja);

Por ello, resulta absolutamente conveniente estudiar cuidadosamente todas las fuentes de agua posibles, especialmente las de gran escala como son:

- el Río Paraná (caudal medio cercano a 17.000 m³/s (o 170 veces el Río Suquia), y sus tributarios como el Río Coronda.
- la Laguna de Mar Chiquita (25 Km³ de volumen o 200 embalses San Roque), y su perlaguna de agua dulce como Laguna del Plata.

El Río Paraná presenta ventajas como su gran caudal, buena calidad en general, y desventajas como no estar en el territorio provincial (no es un recurso propio), estar a gran distancia (más de 300 Km) y estar a menor cota (cerca de 150 m.s.n.m.) que Córdoba, lo cual obligaría a acuerdos interjurisdiccionales, obras grandes, costosas y elevado

costo de operación por el consumo de energía debido al bombeo necesario.

La opción del Paraná se puede centrar inicialmente al brazo derecho del Río Salado, después que este desemboca en el valle del Paraná, tomando el nombre de Río Coronda, que si bien está más cerca que el cauce principal del Paraná (20 Km aprox.), no tiene la misma garantía de caudal en períodos de sequía severa y persistente, ni su calidad.

Una ventaja importante de esta opción es la posibilidad de asociación entre la Provincia de Santa Fe y Córdoba para la cofinanciación de esta obra.

La Laguna de Mar Chiquita se encuentra a menos distancia y mayor cota que el Río Paraná, y es un recurso propio de Córdoba, sin embargo, su elevada salinidad, implica elevados costos en su desalación. En este contexto, la opción más factible se centra en la Laguna del Plata, desembocadura natural del Río Suquía, interconectada a Mar Chiquita para niveles altos, pero con importante ventaja de ser de agua dulce superficial, ya que la cuña salada de la Mar Chiquita penetra sumergida en la Laguna del Plata. Un limitante de esta es que su calidad está comprometida y afectada por ser receptora de efluentes urbanos de la propia ciudad de Córdoba. Si bien es obvio que esta situación debería resolverse, no es fácil debido a razones políticas, culturales y económicas de nuestra sociedad. La distancia y cota son menores que la variante del Río Coronda, pero igual se necesitaría un bombeo importante. Los costos de expropiaciones parecen ser menores si se utiliza el valle o cauce mayor del propio Río Suquía, de dominio público. Una posibilidad para ambos casos puede ser utilizar energía eólica, dado los vientos existentes en un corredor Norte - Sur en el perímetro de Mar Chiquita (ver datos de La Rinconada y Miramar de las estaciones instaladas por el LH de la UNC). Este costo está en el orden de 106 USD por MW a generar, y bombear a un sistema de cisternas sucesivas cuando hay viento a lo largo del acueducto. Esta alternativa cuenta con estudios a nivel de Proyecto. .

Alternativa V: Acueducto desde Laguna del Plata

Esta alternativa básicamente utiliza como embalse de agua la Laguna del Plata (cota 70 m.s.n.m.) la que se encuentra conectada con la laguna de Mar Chiquita y sus niveles responden a las variaciones de ésta última. Esta laguna recibe el aporte de agua dulce del Río Primero por su margen Oeste, aguas debajo de la Ruta Provincial N°17.

Debido al desnivel con la ciudad de Córdoba (445 m.s.n.m.) se deberán instalar varias estaciones de bombeo similares a las planteadas para la alternativa de bombeo desde el Río Coronda y una planta de tratamiento cercana a la laguna. La longitud de la traza propuesta resulta del orden de 200 Km.

Esta alternativa cuenta con muy pocos estudios, solo a nivel de Idea Proyecto.

CONCLUSIONES

En síntesis, el estudio de ofertas y demandas de agua para el Gran Córdoba no es un tema trivial ni se encuentra agotado, es más bien un problema no resuelto. Existe consenso en que se trata de un sistema frágil y sin garantías de cobertura. Y si bien hay valiosos antecedentes y

esfuerzos actuales por parte de los organismos competentes, se concluye que el problema debe continuar siendo estudiado incluyendo el monitoreo de la oferta en todas sus cuencas y micro mediciones en la demanda en los principales centros de consumo.

Incluso, a pesar de la resistencia social a la construcción de nuevas presas de embalse y de la posible politización de este tema técnico, en una región semiárida como la nuestra que se encuentra bajo un crecimiento natural de la demanda, no debería dejar de estudiarse la actualización de proyectos como el del río Anisacate, entre otros.

Los estudios recomendados deben analizar posibles escenarios futuros que incluyan los efectos de sequías severas y persistentes, además de los efectos aún inciertos de la variabilidad y cambio climático en nuestra región semiárida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro de las actividades de cooperación entre el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba y la Secretaria de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.

REFERENCIAS

- [1] Agua y Eneqía Eléctrica (1975): *Aprovechamiento Hidroeléctrico sobre Río Anisacate* - Prov. de Córdoba.
- [2] Bedogni M.D. (2011): *Determinación del caudal ecológico para el Río Tercero (Ctalamochita)*, provincia de Córdoba. Práctica Supervisada de Ingeniería Civil de la FCEFyN. Universidad Nacional de Córdoba.
- [3] Bedogni D., Pagot M., Cossavella A., Monarde F., Hillman G. y Rodríguez A. (2012): *Determinación del caudal ecológico para el río Tercero (Ctalamochita), provincia de Córdoba, Argentina*". XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José de Costa Rica.
- [4] BDHI – *Base de Datos Hidrológica Integrada. Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica*. Ministerio del Interior, obras públicas y vivienda. <http://bdhi.hidricosargentina.gob.ar/>
- [5] Carraza,P.; Larrosa,N., Oviedo, S.; Bazán,R., Glastein,D. y Cossavella,A. (2009): *Estudio de la Calidad del Agua del Río Tercero (Ctalamochita) y su Relación con las Actividades Antropogénicas*. Congreso Nacional del Agua 2009.
- [6] Castelló, Edgar (2009). *Determinación de la Capacidad Hidráulica del Canal Los Molinos – Córdoba*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba.
- [7] Castelló,E., Rodríguez,A., Moya, G., Bartó,C.; Chini,I. y Menajovsky,S. (2000) *Evaluación de alternativas para aprovechamiento del recurso hídrico superficial en el Gran Córdoba, Arg.* XIX Congr. Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Caba., Arg., Vol.I, 695-704, ISBN 950-33-0268-4.
- [8] Díaz E.B. (2016): *Sequías hidrológicas en la República Argentina y su relación con variables macroclimáticas*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Córdoba.
- [9] Fundación Benito Roggio (2012): *Plan Hídrico Córdoba 2050 - Pensando el futuro de los cordobeses*. Buenos Aires.
- [10] Guerra, Lucia; Martini, Mateo; Córdoba, Francisco; Ariztegui, Daniel and Piovano, Eduardo (2018). *Multi-annual response of a Pampean shallow lake from central Argentina to regional and large-scale climate forcings*. Climate Dynamics. 10.1007/s00382-018-4548-x.
- [11] Jacobo J. (2002): *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto presa Anisacate*. Tesis de Grado Ingeniería de la FCEFyN. Universidad Nacional de Córdoba.
- [12] Langa Sánchez, A.; Pagot, M.; Rodríguez, A.; Martínez Capel, F. (2009): *Estudio de caudales ecológicos en ríos de la provincia de*

- Córdoba. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. INA-UNSE-IAHR. Salta.
- [13] Larrosa,N; Cossavella,A; Oviedo,S; OMill,P; Hunziker,M.L. y Rodriguez,A (2007): *Estudio de Contaminación del Río Tercero (Ctalamochita) y Control de Efluentes Líquidos*. Congreso Nacional del Agua 2007.
- [14] Moya G. (2004). *Análisis para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de los Ríos Suquía y Xanáes, Provincia de Córdoba*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba.
- [15] Moya G, Dölling O, Díaz E y Rodríguez A. (2011) *Evaluación de la aplicación de metodología Multicriterio al sistema de aprovechamiento hídrico del Gran Córdoba, R.A.* Mecánica Computacional, Publ. AMCA, Vol.XXX, pgs. 2103-2120, Arg., ISSN 1666-6070.
- [16] Pasquini, Andrea; Lecomte, Karina; Piovano, Eduardo and Depetris, Pedro. (2006). *Recent rainfall and runoff variability in central Argentina*. Quaternary International - QUATERN INT. 158. 127-139. 10.1016/j.quaint.2006.05.021.
- [17] Piovano, E.; Ariztegui, D.; Bernasconi, S.; Mckenzie, J..(2004). “*Stable isotopic record of hidrological changes in subtropical Laguna Mar Chiquita (Argentina) over the last 230 years*” The Holocene, pp 525-535.
- [18] Piovano, E.; Ariztegui, D.; Bernasconi, S.; Hajdas, I.(2004). “*Reconstrucción de la variabilidad climática en el Sudeste de Sudamérica desde el Pleitoceno tardío a través del analisis limnogeológico, Laguna de Mar Chiquita, Córdoba, Argentina*”. X Reunión Argentina de Sedimentos.
- [19] Reyna, S; Reyna, T.; Reyna E., Lábaque M. (2006). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos De La Provincia De Córdoba*. I Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba.
- [20] Reyna S., T. Reyna, M. Lábaque; F. Fulginit (2012): *Diagnóstico de la Provisión de Agua del Gran Córdoba. Alternativas de Solución*. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, San José de Costa Rica.
- [21] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (2006): *Aprovechamiento Múltiple Anizacate – Idea Proyecto*. Informe Inédito, (gentileza Ing. R. Nores).
- [22] Vázquez J. B. (1977): *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt. República Argentina.
- [23] Vicario L. (2013): *Identificación y evaluación de zonas hidrometeorológicamente homogéneas en la región central de la Argentina*. Primer Congreso Iberoamericano de protección, gestión, eficiencia, reciclado y reúso del agua. Córdoba, Argentina.
- [24] Vicario, CM García, I Teich, JC Bertoni y A Rodríguez (2015) Variabilidad de las Sequías Hidrometeorológicas en la Región Central de la Argentina, Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. VI, N 1, pp 153-165, (Mexico), ISSN 0187-8336

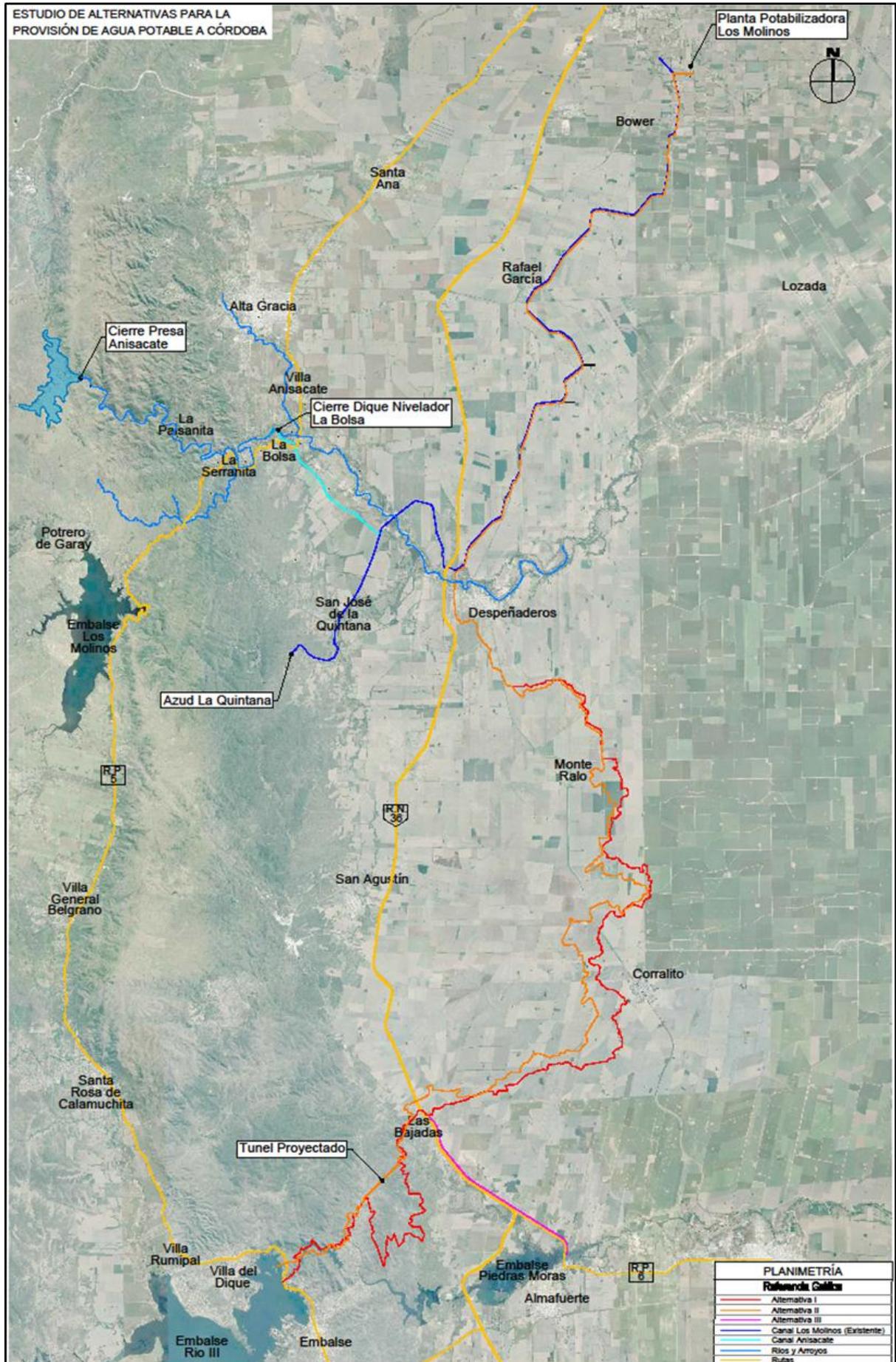


Fig. 6: Trazado de las Alternativas de Provisión de Agua Potable para la Provincia de Córdoba.