

BALANCE OFERTA – DEMANDA DE AGUA CUENCA DEL RÍO BOLO

1. LOCALIZACIÓN

La cuenca del río Bolo es una cuenca de cuarto orden, pertenece a la cuenca del río Guachal, pero debido a la alta importancia que tiene para la región se realiza un estudio independiente de ella. Para este balance se tuvo en cuenta, además, la cuenca del río Aguaclara, ya que es el principal afluente del río Bolo. La cuenca del río Bolo posee un área de 41.001 has (incluida la cuenca Aguaclara); limita al norte con la cuenca del río Amaime, al sur con la cuenca del río Fraile, al oriente con el departamento de Tolima y al occidente con el río Cauca.

El río Bolo nace en la cordillera Central, a una altura aproximada de 3.800 metros sobre el nivel del mar, y confluye con el río Fraile para formar el río Guachal, el cual entrega sus aguas en la margen derecha del río Cauca. El río Aguaclara nace en las estribaciones de la cordillera central en el corregimiento de Ayacucho y desemboca en el río Bolo en predios de la hacienda Papayal, sobre la margen derecha. El uso de las aguas del río Bolo se encuentra reglamentado por la Resolución 0100 N° 0600-0652 de 2012.

Con el propósito de determinar la demanda y oferta de agua en la cuenca, esta se dividió en dos zonas; productora y consumidora (Figura 1). La zona productora incluye la zona productora del río Bolo y la del río Aguaclara, la primera se extiende desde el nacimiento del río hasta el sitio donde se localiza la estación hidrométrica Los Minchos y la segunda se extiende desde el nacimiento del río Aguaclara hasta la línea de piedemonte; esta zona tiene un área aproximada de 16.087 has. La zona consumidora fue delimitada partiendo del punto de cierre de la zona productora, hasta la confluencia con el río Fraile, cuenta con un área 24.915 has.

distribuido porcentualmente el uso del suelo así (Figura 3): cultivos permanentes con 55%, pastos para ganadería con 20%, vegetación boscosa y de protección natural con 18% e infraestructura residencial con 2%.

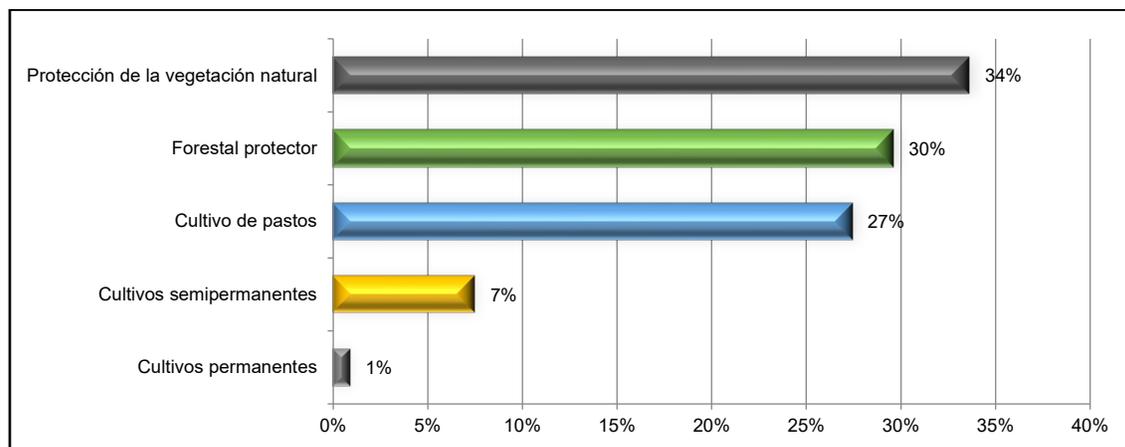


Figura 2. Uso del suelo en la zona productora del río Bolo

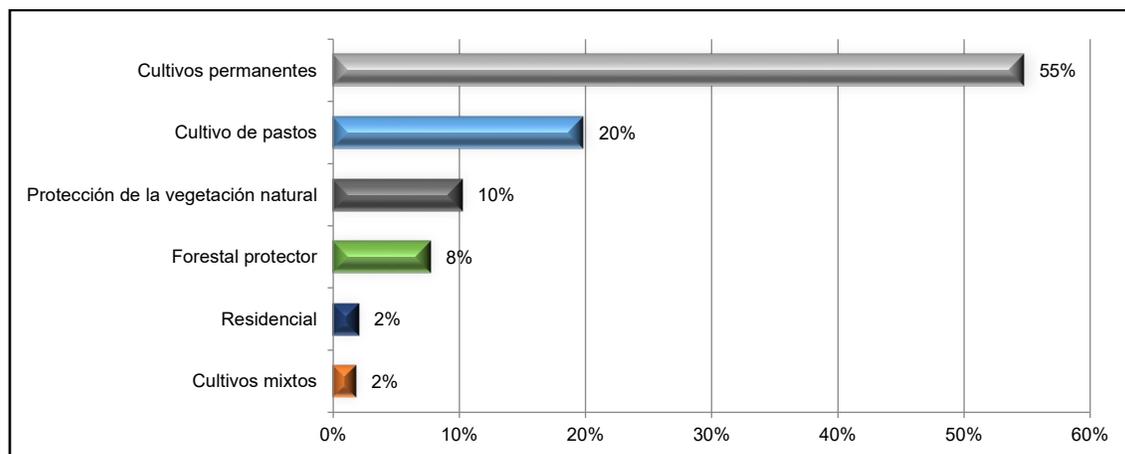


Figura 3. Uso del suelo en la zona consumidora del río Bolo

3. DEMANDA DE AGUA

3.1. Demanda de agua para uso agrícola

Para la estimación de esta demanda, se tomaron las coberturas de cultivos permanentes, semipermanentes, transitorios, mixtos y el pasto de corte. En la Tabla 1, se resume la demanda agrícola para la zona productora y consumidora.

Tabla 1. Demanda agrícola, cuenca del río Bolo

Zona	Demanda Agrícola (mm)												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Productora	61	43	63	60	62	59	64	49	62	60	57	60	700
Consumidora	81	68	83	80	82	78	85	78	82	79	75	78	949

Se puede observar que la demanda de agua para uso agrícola es mayor en la zona consumidora, debido a la presencia de mayores áreas cultivadas con necesidad de riego, principalmente caña de azúcar. El valor máximo de demanda agrícola para ambas zonas se presenta en el mes de julio, ya que este es el mes con mayores registros de evapotranspiración. En la Figura 4, se puede observar el comportamiento mensual de la demanda agrícola en las zonas productora y consumidora de la cuenca del río Bolo.

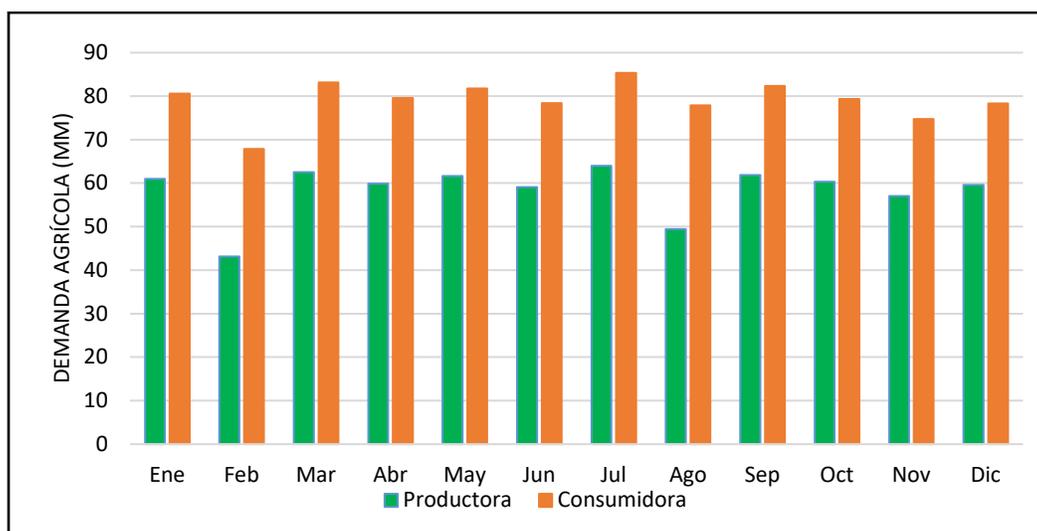


Figura 4. Demanda agrícola, cuenca del río Bolo

3.2. Demanda de agua para uso doméstico

Para la estimación de esta demanda, se utilizó la información publicada por el DANE en el censo nacional de población y vivienda 2018 para cada municipio del territorio nacional, y la cartografía existente en la Corporación sobre información territorial administrativa, de la cual se determinó el área de cada municipio presente en la cuenca.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos, la zona productora del río Bolo cuenta con 3.119 habitantes y la zona consumidora con 55.962. Teniendo en cuenta lo estipulado en la reglamentación técnica del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, cuyo artículo 67 fue modificado por la resolución 2320 de 2009, que establece una dotación de agua para consumo doméstico de 150 litros/habitante/día, se estimó la demanda doméstica para la cuenca del río Bolo (Tabla 3).

Tabla 2. División política, cuenca del río Bolo

Zona	Municipio	Zona	% Mcpio	Población 2018	Hab. Cuenca
Productora	Florida	Rural	0,05%	17.179	8
Productora	Palmira	Rural	1%	74.040	373
Productora	Pradera	Rural	44%	6.193	2.738
Consumidora	Candelaria	Rural	5%	68.246	3.460
Consumidora	Palmira	Rural	12%	74.040	9.139
Consumidora	Pradera	Rural	31%	6.193	1.941
Consumidora	Pradera	Cabecera	100%	41.422	41.422

Tabla 3. Demanda doméstica, cuenca del río Bolo

Zona	Demanda Doméstica (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
Consumidora	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,3

3.3. Demanda de agua para uso pecuario

Para la estimación de esta demanda, se descartaron las áreas correspondientes a las cabeceras municipales, ya que se asume que la producción pecuaria se realiza solo en las zonas rurales. Para determinar la población de especies pecuarias en la cuenca, se utilizó la información del censo realizado por el ICA a comienzos del año 2021, que se encuentra a nivel municipal y tiene en cuenta las especies aviares, bovinas, caprinas, equinas, ovinas y porcinas.

La dotación de agua para cada especie se adoptó de la resolución N°112-1183 del 8 de abril de 2005 de la Corporación Autónoma de los ríos Negro y Nare "CORNARE" que establece los módulos de consumo básicos para los sectores productivos de la industria pecuaria. En la tabla 4, se muestran los valores de demanda de agua para uso pecuario obtenidos para la cuenca del río Bolo.

Tabla 4. Demanda pecuaria, cuenca del río Bolo

Zona	Demanda por actividad pecuaria (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora													
D. Bovina	0,0372	0,0336	0,0372	0,0360	0,0372	0,0360	0,0372	0,0372	0,0360	0,0372	0,0360	0,0372	0,438
D. Caprina	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,006
D. Equina	0,0038	0,0034	0,0038	0,0036	0,0038	0,0036	0,0038	0,0038	0,0036	0,0038	0,0036	0,0038	0,044
D. Ovina	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,006
D. Porcina	0,0045	0,0040	0,0045	0,0043	0,0045	0,0043	0,0045	0,0045	0,0043	0,0045	0,0043	0,0045	0,053
D. Aviar	1,1429	1,0323	1,1429	1,1060	1,1429	1,1060	1,1429	1,1429	1,1060	1,1429	1,1060	1,1429	13,456
Consumidora													
D. Bovina	0,0379	0,0342	0,0379	0,0367	0,0379	0,0367	0,0379	0,0379	0,0367	0,0379	0,0367	0,0379	0,446
D. Caprina	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,003
D. Equina	0,0032	0,0029	0,0032	0,0031	0,0032	0,0031	0,0032	0,0032	0,0031	0,0032	0,0031	0,0032	0,038
D. Ovina	0,0007	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,008
D. Porcina	0,0304	0,0275	0,0304	0,0294	0,0304	0,0294	0,0304	0,0304	0,0294	0,0304	0,0294	0,0304	0,358
D. Aviar	1,5751	1,4226	1,5751	1,5242	1,5751	1,5242	1,5751	1,5751	1,5242	1,5751	1,5242	1,5751	18,545
Zona	Demanda Pecuaria (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	14,0
Consumidora	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	19,4

3.4. Demanda de agua para uso industrial

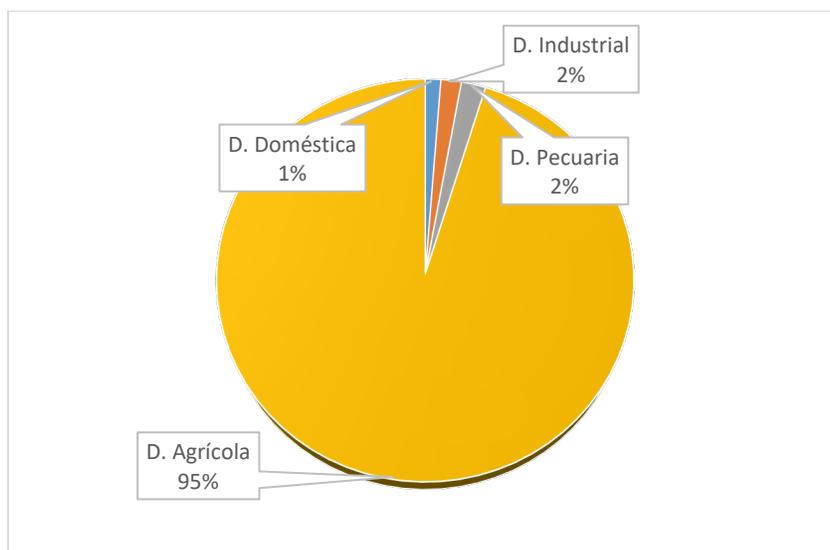
La demanda de agua para uso industrial se estimó con base en el Registro Único Ambiental -RUA- del año 2020, en el cual se reporta el volumen de agua consumido por las empresas inscritas; para la cuenca del río Bolo, se tuvo en cuenta el volumen de agua registrado para el municipio de Pradera, cuya cabecera municipal se ubica por completo dentro de la cuenca. El volumen de agua consumido por las industrias manufactureras del municipio de Pradera para el año 2020 fue de 4'056.466 m³/año.

En la Tabla 5 se muestra la demanda industrial estimada para la zona consumidora del río Bolo, en la zona productora no existe demanda de este tipo.

Tabla 5. Demanda industrial, cuenca del río Bolo

Zona	Demanda Industrial (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Consumidora	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	16,3

La demanda de agua para uso agrícola es la que mayor aporte hace a la demanda total anual con un 95% (gráfico 4), lo sigue la demanda doméstica con un 1%, la pecuaria con 2% y finalmente la industrial con 2%.



4. OFERTA DE AGUA

4.1. Precipitación

Se calculó la precipitación media mensual y anual multianual (período 1985-2020) para las zonas productora y consumidora de la cuenca por el método de las isoyetas. Para esto se utilizó información de las estaciones de la red hidroclimatológica de la CVC, así como información del IDEAM. En la Tabla 6 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 6. Precipitación media, cuenca del río Bolo

Precipitación Media Mensual Multianual (mm) - Zona Productora												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
129	129	169	177	144	76	51	45	86	219	247	162	1645
Precipitación Media Mensual Multianual (mm) - Zona Consumidora												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
98	107	148	174	128	62	41	40	92	178	189	122	1381

En la cuenca del río Bolo el régimen pluviométrico es bimodal, con dos periodos húmedos que se presentan en los meses marzo-abril-mayo y octubre-noviembre-diciembre; así como dos periodos menos lluviosos en los meses enero-febrero y junio-julio-agosto-septiembre. Las dos zonas de la cuenca presentan su valor más bajo de precipitación media en el mes de agosto y alcanzan su valor máximo en el mes de noviembre.

4.2. Agua superficial

La oferta de agua superficial de la cuenca del río Bolo está compuesta por el caudal disponible en el río Bolo, más el caudal aportado por el río Aguaclara.

La cuenca del río Bolo se encuentra instrumentada por la estación limnigráfica Los Minchos, la cual está localizada aguas arriba de la primera derivación de agua. Esta estación posee datos desde el año 1992, para este estudio se empleó el periodo de registros 1993-2021. La cuenca del río Aguaclara no se encuentra instrumentada, por lo tanto, se estimaron caudales medios mensuales mediante el método de rendimientos específicos.

4.2.1. Oferta Hídrica Total

La oferta hídrica total superficial (OHTS) corresponde al volumen de agua que escurre por la superficie del suelo, que no se infiltra o se evapora, y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos de una unidad hidrográfica (área, zona y subzona), es decir, la escorrentía. Ésta es calculada de forma anual y mensual para condiciones hidrológicas de años típicos medio (promedio multianual), seco y húmedo.

En la Tabla 7, se presenta la oferta hídrica total estimada para la cuenca del río Bolo bajo las condiciones hidrológicas de año seco, normal y húmedo.

Tabla 7. Oferta hídrica total, cuenca del río Bolo

Año Hidrológico	Caudal Medio Mensual Multianual (m ³ /s)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal	3,33	3,18	3,48	3,82	4,10	3,71	3,43	2,91	2,73	3,03	4,19	4,30	3,53
Seco	1,16	0,87	0,88	1,69	1,25	1,17	0,90	0,35	0,44	0,64	0,96	1,13	1,54
Húmedo	7,16	7,57	6,87	7,31	9,14	7,79	6,14	6,32	6,34	6,18	10,02	11,89	6,53

4.2.2. Oferta Hídrica Disponible

La Oferta Hídrica Disponible (OHTD) es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la OHTS el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental.

El caudal ambiental, de acuerdo con el decreto 3930 de 2010 publicado por el Ministerio de Ambiente, es el volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los sistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios, aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas. Para determinar el caudal ambiental, la CVC define un porcentaje de caudal que se debe mantener en la corriente, asociado al régimen de caudales característicos de la misma; para ello, desde hace varios años aplica los conceptos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM–, para determinar la oferta hídrica superficial neta, que considera un factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, en el documento “*Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*”. El factor de reducción para mantener el régimen de estiaje estimado para el río Bolo es de 16%.

En la Tabla 8 se muestra el caudal ambiental determinado para el río Bolo y en la Tabla 9, la oferta hídrica disponible.

Tabla 8. Caudal ambiental, río Bolo

Caudal Ambiental (m ³ /s)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
0,53	0,51	0,56	0,61	0,66	0,59	0,55	0,47	0,44	0,48	0,67	0,69	0,56

Tabla 9. Oferta hídrica disponible, río Bolo

Oferta Hídrica Año Normal (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
30,11	25,96	31,40	33,36	37,07	32,41	30,97	26,28	23,84	27,36	36,65	38,82	374,21
Oferta Hídrica Año Seco (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
10,51	7,06	7,95	14,75	11,27	10,22	8,15	3,18	3,86	5,81	8,40	10,19	101,34
Oferta Hídrica Año Húmedo (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
64,64	61,72	62,07	63,85	82,49	68,06	55,43	57,04	55,40	55,82	87,54	107,39	821,43

4.3. Agua subterránea

Para estimar la oferta de agua subterránea, se tuvo en cuenta la información disponible en la CVC sobre el caudal explotable del acuífero para cada cuenca. Esta información corresponde al caudal que puede ser explotado de un acuífero durante un tiempo sin provocar efectos no deseados, y está determinado por condiciones económicas (costo de inversión y operación del pozo, rentabilidad de la inversión, etc.), legales (legislación ambiental, derechos previamente adquiridos, etc.) o técnicas (infraestructura existente y características hidrológicas de la zona) que dependen de las circunstancias de cada región.

El volumen total de agua subterránea para la cuenca del río Bolo es de 124,63 Mm³/año. En la tabla 9 se muestran los valores de oferta subterránea a nivel mensual.

Tabla 10. Oferta subterránea, cuenca del río Bolo

Oferta Subterránea (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
42,48	38,37	42,48	41,11	42,48	41,11	42,48	42,48	41,11	42,48	41,11	42,48	500,22

5. BALANCE 1: PRECIPITACIÓN – DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA

Se realizó el primer balance con el fin de establecer las situaciones de déficit y/o excesos de agua en la cuenca. Este balance consiste en restar a la precipitación media de la cuenca, los valores de demanda agrícola; para de esta forma establecer los meses en los que la lluvia no cubre la totalidad de la demanda agrícola y por ende es necesario aplicar riego a los cultivos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Balance 1, cuenca del río Bolo

Zona	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora	68	86	107	117	83	17	-13	-4	24	159	190	103	946
Consumidora	18	39	65	94	47	-17	-44	-38	10	98	115	44	432

El balance 1 muestra déficit de agua tanto en la zona productora como en la consumidora para los meses de julio y agosto, así como en junio para la zona consumidora.

6. BALANCE 2: OFERTA TOTAL – DEMANDA TOTAL

El balance entre oferta y demanda de agua total corresponde a la diferencia entre la oferta representada por el aporte de agua superficial y subterránea de la cuenca, y la demanda total correspondiente a la suma de la demanda doméstica, industrial, pecuaria y agrícola (en caso de no ser satisfecha por la precipitación). La demanda agrícola es afectada por un factor relacionado con la eficiencia del sistema de riego; en ella se incluye la eficiencia de aplicación, conducción y captación, para la cual se tomó un valor de 36% en caso de tener riego por gravedad y 50,4% en riego por aspersión. Los cultivos a los que se les afectó por el factor de riego por gravedad son caña de azúcar, caña panelera y arroz; para los restantes se asumió riego por aspersión, ya que no hay información detallada sobre cada uno de los cultivos asentados en el departamento.

El balance 2 se realizó para las tres condiciones de año hidrológico contempladas en este estudio (normal, seco y húmedo). En la Tabla 12 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 12. Balance 2, cuenca del río Bolo

ESCENARIO 1 (mm) - AÑO HIDROLOGICO NORMAL													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
O. Superficial	30,1	26,0	31,4	33,4	37,1	32,4	31,0	26,3	23,8	27,4	36,6	38,8	374,2
O. Subterránea	42,5	38,4	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	500,2
O. TOTAL	72,6	64,3	73,9	74,5	79,6	73,5	73,5	68,8	65,0	69,8	77,8	81,3	874,4
D. Doméstica	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,3
D. Industrial	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	16,3
D. Pecuaria	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	19,4
D. Agrícola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3	113,2	96,6	0,0	0,0	0,0	0,0	252,1
D. TOTAL	4,1	3,7	4,1	3,9	4,1	46,3	117,3	100,6	3,9	4,1	3,9	4,1	300,1
BALANCE 2	68,5	60,7	69,8	70,5	75,5	27,2	-43,8	-31,9	61,0	65,8	73,8	77,2	574,4
ESCENARIO 2 (mm) - AÑO HIDROLÓGICO SECO													
O. Superficial	10,5	7,1	7,9	14,8	11,3	10,2	8,1	3,2	3,9	5,8	8,4	10,2	101,3
O. Subterránea	42,5	38,4	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	500,2
O. TOTAL	53,0	45,4	50,4	55,9	53,8	51,3	50,6	45,7	45,0	48,3	49,5	52,7	601,6
D. Doméstica	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,3
D. Industrial	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	16,3
D. Pecuaria	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	19,4
D. Agrícola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3	113,2	96,6	0,0	0,0	0,0	0,0	252,1
D. TOTAL	4,1	3,7	4,1	3,9	4,1	46,3	117,3	100,6	3,9	4,1	3,9	4,1	300,1
BALANCE 2	48,9	41,7	46,4	51,9	49,7	5,1	-66,7	-55,0	41,0	44,2	45,6	48,6	301,5
ESCENARIO 3 (mm) - AÑO HIDROLÓGICO HÚMEDO													
O. Superficial	64,6	61,7	62,1	63,8	82,5	68,1	55,4	57,0	55,4	55,8	87,5	107,4	821,4
O. Subterránea	42,5	38,4	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	42,5	41,1	42,5	41,1	42,5	500,2
O. TOTAL	107,1	100,1	104,6	105,0	125,0	109,2	97,9	99,5	96,5	98,3	128,7	149,9	1321,7
D. Doméstica	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,3
D. Industrial	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	16,3
D. Pecuaria	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	19,4
D. Agrícola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3	113,2	96,6	0,0	0,0	0,0	0,0	252,1
D. TOTAL	4,1	3,7	4,1	3,9	4,1	46,3	117,3	100,6	3,9	4,1	3,9	4,1	300,1
BALANCE 2	103,1	96,4	100,5	101,0	120,9	62,9	-19,4	-1,1	92,6	94,2	124,7	145,8	1021,6

Se puede observar que, en las tres condiciones de año hidrológico, los meses de julio y agosto presentan déficit de agua. Esto se debe a que son meses que hacen parte de la segunda temporada seca del año, la cual se ve reflejada en la disminución de las lluvias y el aumento de la evapotranspiración. En las condiciones de año hidrológico normal, la demanda anual es de 300 mm y la oferta alcanza los 874 mm, por lo tanto, se presenta una lámina excedente de 574 mm.

De acuerdo con los resultados anteriores, en la cuenca del río Bolo se hace necesario implementar alternativas que permitan suplir las necesidades de agua en los meses que presentan déficit, por ejemplo, el manejo adecuado del recurso a través del mejoramiento

de las eficiencias de los proyectos de riego, la regulación de agua mediante el almacenamiento en épocas de lluvia para emplear este recurso en épocas de verano y la captación de agua de otras fuentes.