



ALTERNEGY S.A.

COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DOS MARES

CHIRIQUÍ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

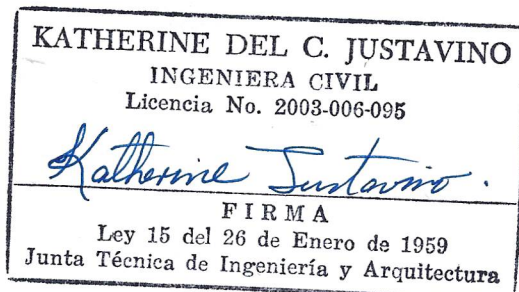
INFORME DE DISPONIBILIDAD DE RECURSO

HÍDRICO

APROVECHAMIENTO HÍDRICO DE

QUEBRADA LA MONTERA

carbon 
ingeniería
CONSULTORES EN INGENIERÍA



2003C09-S-001-DOC

REV. 2

Febrero de 2021

CONTROL REVISIONES DE DOCUMENTO		
NÚMERO DE REVISIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
2	25/02/2021	Inclusión de caudales aprovechables
1	01/09/2020	Inclusión de análisis de inundación ante avenidas
0	21/08/2020	Borrador completo para revisión

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE.....	III
1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
2. UBICACIÓN DE LA QUEBRADA LA MONTERA.....	- 2 -
3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.1 Precipitaciones medias sobre la cuenca.....	- 4 -
3.1.2 Caudales medios en las estaciones de referencia.....	- 9 -
3.1.3 Traslado de caudales medios a la quebrada La Montera.....	- 11 -
4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS.....	- 22 -
5. ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN	- 25 -
5.1 ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN EN EL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA LA MONTERA.....	- 25 -
5.2 ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN EN EL RÍO CHIRIQUÍ	- 33 -
6. CONCLUSIONES.....	- 38 -

1. INTRODUCCIÓN

El Complejo Hidroeléctrico Dos Mares está ubicado en la Provincia de Chiriquí, Panamá. Dos Mares está compuesto por tres plantas en cascada, del tipo “filo de agua”, con una capacidad instalada total de 118 MW. El proyecto utiliza las aguas descargadas por la Planta Estí, además de las aguas adicionales de los ríos Estí, Cochea y Papayal.

En el año 2017 se presentó a CELSIA un Estudio de Prefactibilidad para el aprovechamiento hídrico de la quebrada Montera, para captarlo a la altura del inicio del canal de aducción Lorena y turbinarlo en las centrales Lorena y Prudencia. Dicho estudio permitió concluir que la quebrada cuenta con un recurso que puede ser aprovechado por ambas centrales durante los meses lluviosos para complementar los caudales provenientes de la central Gualaca, debido a que muy frecuentemente el canal de Lorena opera por debajo de su capacidad máxima, existiendo la posibilidad de transportar el aporte de La Montera.

En función de los resultados del estudio anterior, y con el fin de retomar este proyecto de incremento de generación del Complejo, CELSIA solicitó a CARBON Ingeniería una propuesta para actualizar y ampliar el estudio de prefactibilidad, considerando nueva información hidrológica disponible (aforos), nuevas condiciones en los precios de la energía, la actualización de los costos de las obras, la evaluación de distintas opciones para el aprovechamiento y la generación de información requerida para los trámites ambientales actualmente en curso.

El presente documento presenta el informe de disponibilidad del recurso hídrico, considerando toda la información hidrológica disponible a la fecha.

2. UBICACIÓN DE LA QUEBRADA LA MONTERA

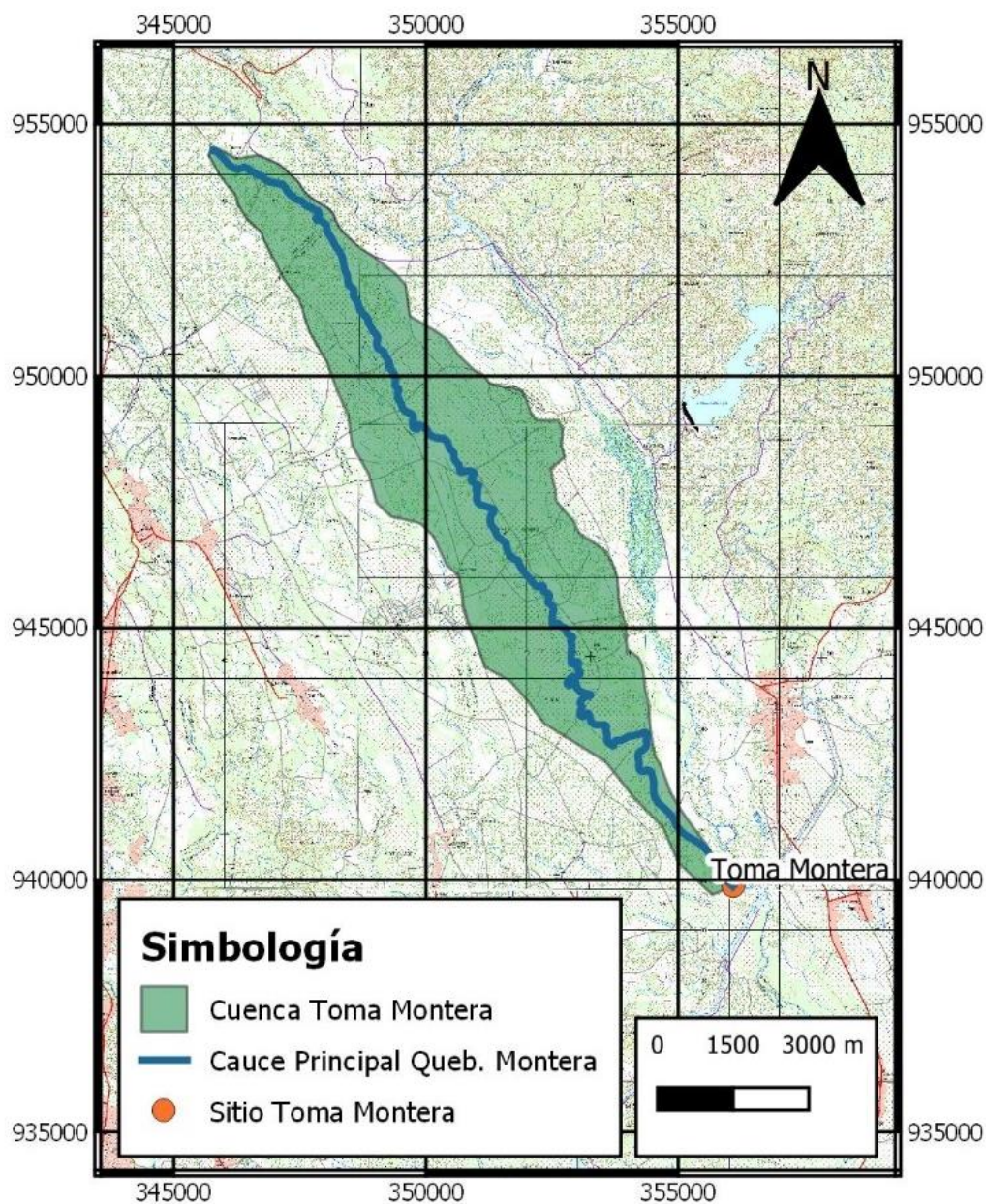
La quebrada La Montera está ubicada en el sector del distrito de David, corregimiento de Bijagual. Discurre de forma paralela al río Chiriquí y al sistema Cochea- Papayal. En el sitio de interés, esto es, 470 m aguas arriba donde confluye actualmente con el río Chiriquí, define un área de drenaje de 34.58 km². Su ubicación se muestra en la Figura 2.1.

Para la delimitación de la cuenca se utilizó la cartografía 1:25000 disponible en la página web del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. La cuenca es alargada (índice de Gravelius de 1.86) y está compuesta por una red de drenaje de estructura paralela. Se identifican tres cursos de agua principales: La Montera, El Jagua y El Cristo, los cuales confluyen y forman el curso de agua que aporta sus aguas en conjunto al río Chiriquí por margen izquierda.

La elevación máxima de la cuenca se ubica a los 400 msnm, mientras que la confluencia con el río Chiriquí se ubica a la cota 80 msnm. Los tres cursos de agua principales tienen una pendiente media cercana al 1,5% y una longitud máxima de recorrido de casi 23 km (sistema El Jagua – La Montera).

La construcción de la planta hidroeléctrica Lorena, del complejo Dos Mares, supuso el desvío de esta quebrada, corriendo su sitio de confluencia con el Chiriquí unos 750 m aguas arriba del punto original. El desvío se logró mediante el dragado de un canal nuevo, la construcción de diques y la conformación del terreno adyacente.

Figura 2.1 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Montera en el sitio propuesto de toma. Hojas cartográficas 1:25000 Cerro Pelado, Caldera, Gualaca y Dolega.
Cuadrícula UTM Zona 17N WGS 84



3. ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS

3.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS DISPONIBLES

3.1.1 Precipitaciones medias sobre la cuenca

La quebrada Montera no cuenta con registros de caudal. Por lo tanto, para estimar su régimen de caudales se recurrió a la metodología de traslado por área-precipitación, tal como se realizó en los estudios básicos del proyecto Dos Mares. Para este caso se contó con los registros tanto del río Estí (estación Sitio de Presa) como del río Cochea (estación Dolega), por lo que ambos fueron considerados para el presente estudio.

Para aplicar esta metodología se requiere en primera instancia conocer la distribución espacial de la lluvia, a escala media anual. Para ello se generó un mapa de isoyetas a partir de los registros de precipitación anual de 26 estaciones de lluvia en las cercanías de las cuencas de interés (ver Cuadro 3.1 y Figura 3.1), del cual se extrajo la información relevante para el área de estudio (Figura 3.2). Se observa del mapa que la cuenca está sujeta a una alta pluviosidad, con valores entre los 3000 y 4000 mm y en medio de dos grandes núcleos de precipitación media anual de más de 5000 mm. Aplicando la metodología de áreas entre isoyetas, se estimó una precipitación media anual de 4003.8 mm.

Otra metodología aplicable para determinar la distribución especial de las precipitaciones corresponde al método de polígonos de Thiessen, que define el área de influencia de cada estación en la zona de estudio.

En la Figura 3.3 se muestran los polígonos de Thiessen determinados para las estaciones de interés. Con este método se estimó una precipitación media anual de 3975.7 mm.

Se decidió utilizar el valor de precipitación obtenido por medio del método de isoyetas ya que éste define más adecuadamente la distribución espacial de las precipitaciones en los casos en que se tienen diferencias importantes de los valores agregados anuales entre estaciones cercanas, que es el caso de la cuenca del presente estudio.

Cuadro 3.1. Estaciones de lluvia utilizadas para el cálculo de la precipitación media anual para el sector de la cuenca de la quebrada La Montera

Nombre	No. años de registro	Elevación (msnm)	Latitud Norte	Longitud Oeste	P anual (mm)
Quebrada Ortega (108-021)	12	1280	8° 42' 00"	82° 12' 00"	4180.8
Fortuna Casa Control (108-042)	29	1062	8° 40' 45"	82° 15' 42"	3230.4
Bellavista (108-032)	26	730	8° 36' 00"	82° 14' 00"	5622
Gualaca II (108-043)	24	100	8° 31' 20"	82° 18' 03"	4243.2
Veladero Gualaca (108-014)	56	45	8° 25' 50"	82° 17' 12"	3408
Angostura de Cochea (108-013)	56	210	8° 34' 00"	82° 23' 00"	3891.6
Dolega (108-011)	36	270	8° 34' 00"	82° 25' 00"	3852
Los Palomos (108-009)	56	420	8° 35' 00"	82° 28' 00"	4364.4
Potrillo Arriba (108-006)	64	930	8° 41' 06"	82° 29' 23"	3715.2
Planta Caldera (108-003)	42	920	8° 43' 00"	82° 28' 00"	4165.2
Finca Lérida (108-001)	56	1700	8° 48' 00"	82° 29' 00"	2794.8
Bajo Boquete (108-005)	34	1060	8° 46' 00"	82° 26' 00"	2846.4
Los Naranjos (108-017)	48	1200	8° 46' 45"	82° 25' 53"	2442
Cermeno (108-015)	53	170	8° 31' 13"	82° 25' 58"	3325.2
El Valle (108-002)	56	40	8° 25' 37"	82° 20' 16"	3009.6
Macano Arriba (106-004)	48	520	8° 36' 44"	82° 35' 11"	4944
Cuesta de Piedra (104-001)	51	1000	8° 40' 38"	82° 37' 29"	5688
Changuinola Sierra (91-027)	38	1220	8° 51' 13"	82° 24' 25"	3608.4
Caldera Pueblo Nuevo (108-004)	57	365	8° 39' 11"	82° 22' 55"	3856.8
Paja de Sombrero (108-018)	49	388	8° 41' 07"	82° 19' 15"	3386.4
Quebrada Bijao (108-020)	49	1080	8° 43' 43"	82° 09' 56"	5276.4
Hornitos (108-022)	49	1340	8° 43' 06"	82° 13' 41"	3592.8
La Cordillera (108-008)	37	1200	8° 44' 00"	82° 16' 00"	3144
Fortuna (108-019)	49	1040	8° 44' 38"	82° 14' 58"	3650.4
Río Hornitos (108-007)	24	1020	8° 44' 00"	82° 14' 00"	4575.6
India Vieja (108-037)	39	1160	8° 45' 00"	82° 21' 00"	4279.2

Figura 3.1 Estaciones de lluvia utilizadas para el cálculo de la precipitación media anual para el sector de la cuenca de la quebrada La Montera. Cuadrícula UTM Zona 17N WGS 84 (Imagen satelital de Google Earth, 2019)

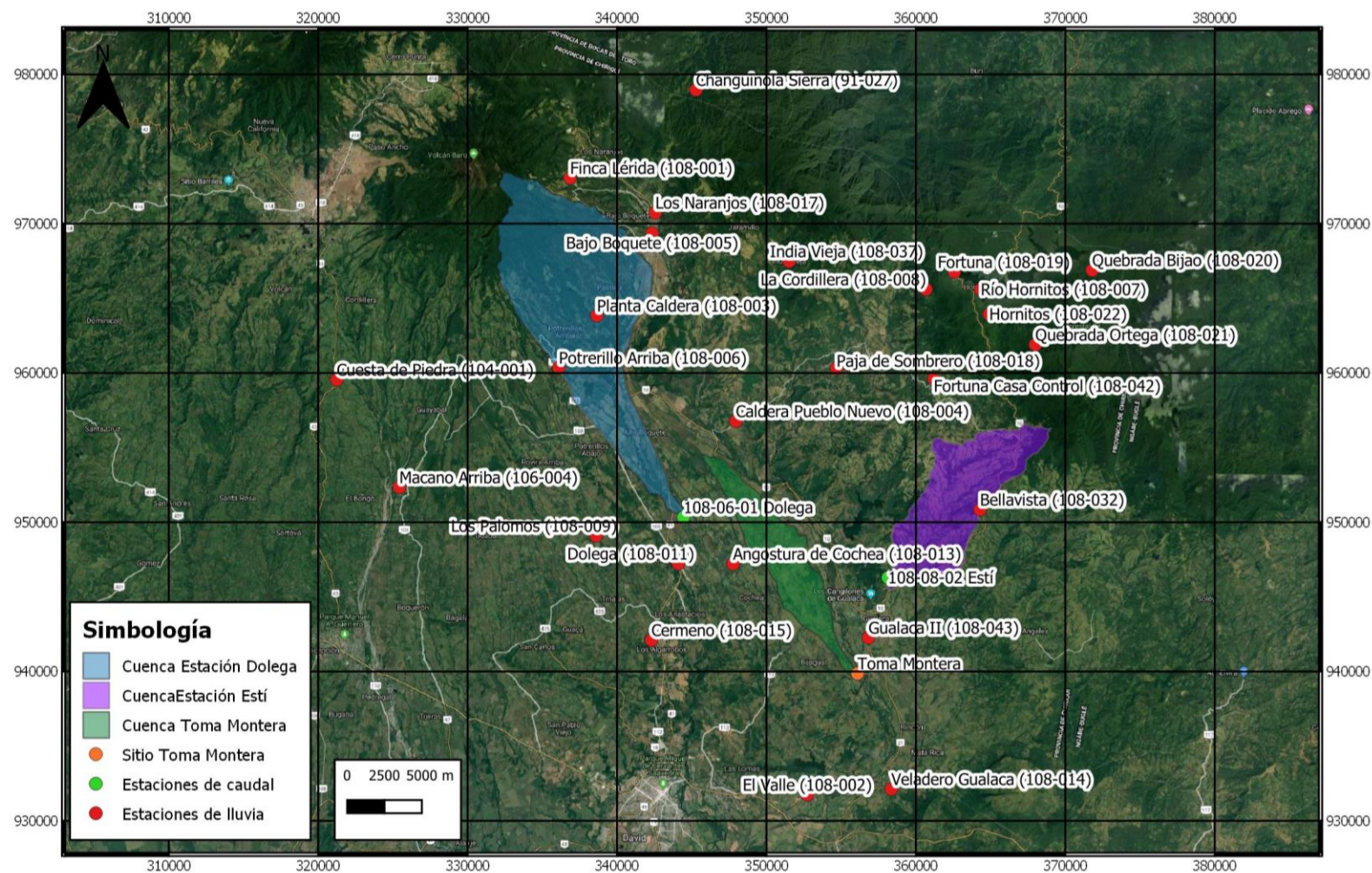


Figura 3.2 Mapa de isoyetas de precipitación media anual para el sector de la cuenca de la quebrada La Montera
Cuadrícula UTM Zona 17N WGS 84. Precipitación en mm

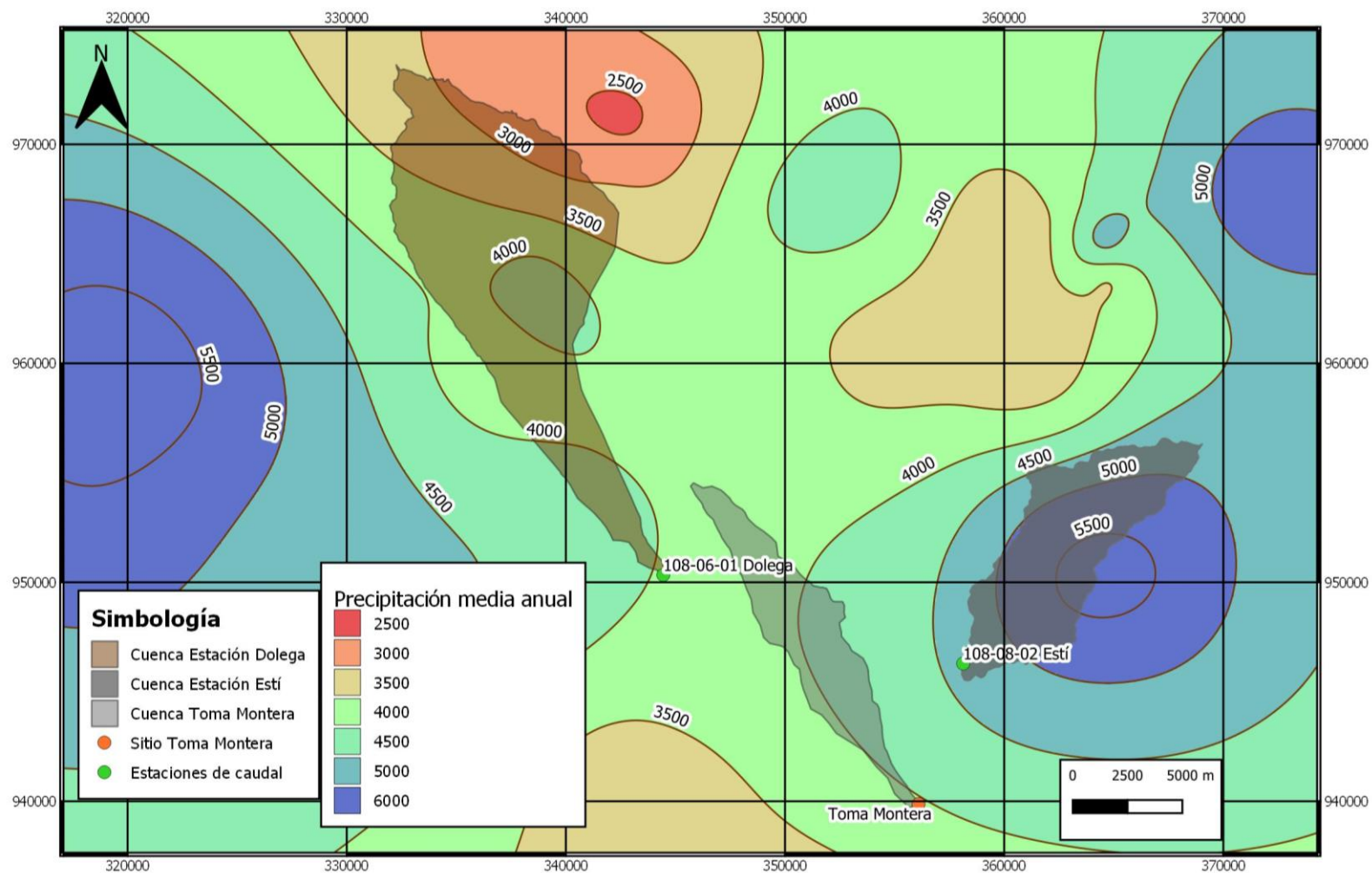
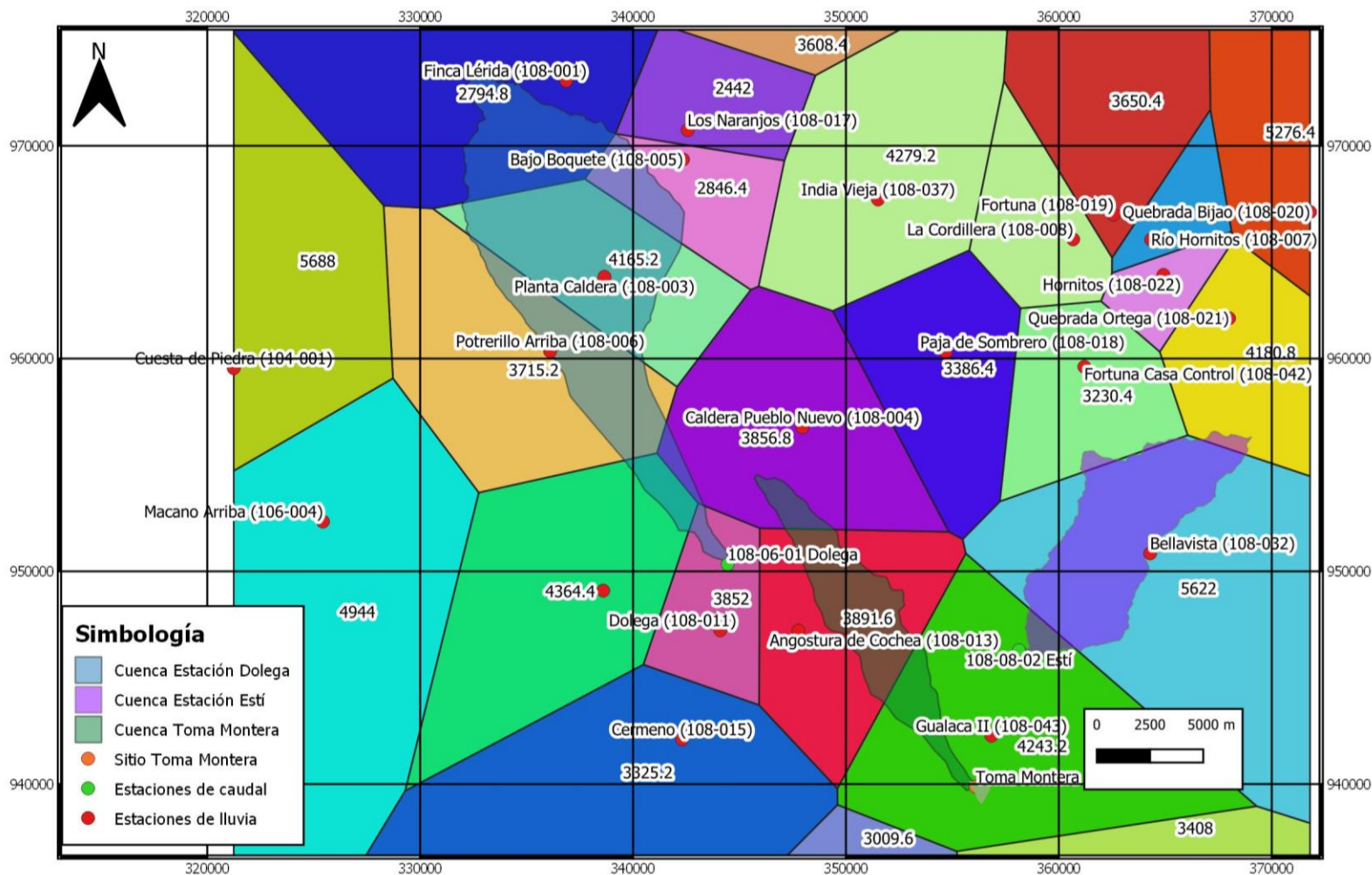


Figura 3.3 Polígonos de Thiessen para el sector de la cuenca de la quebrada La Montera
 Cuadrícula UTM Zona 17N WGS 84. Precipitación en mm



3.1.2 Caudales medios en las estaciones de referencia

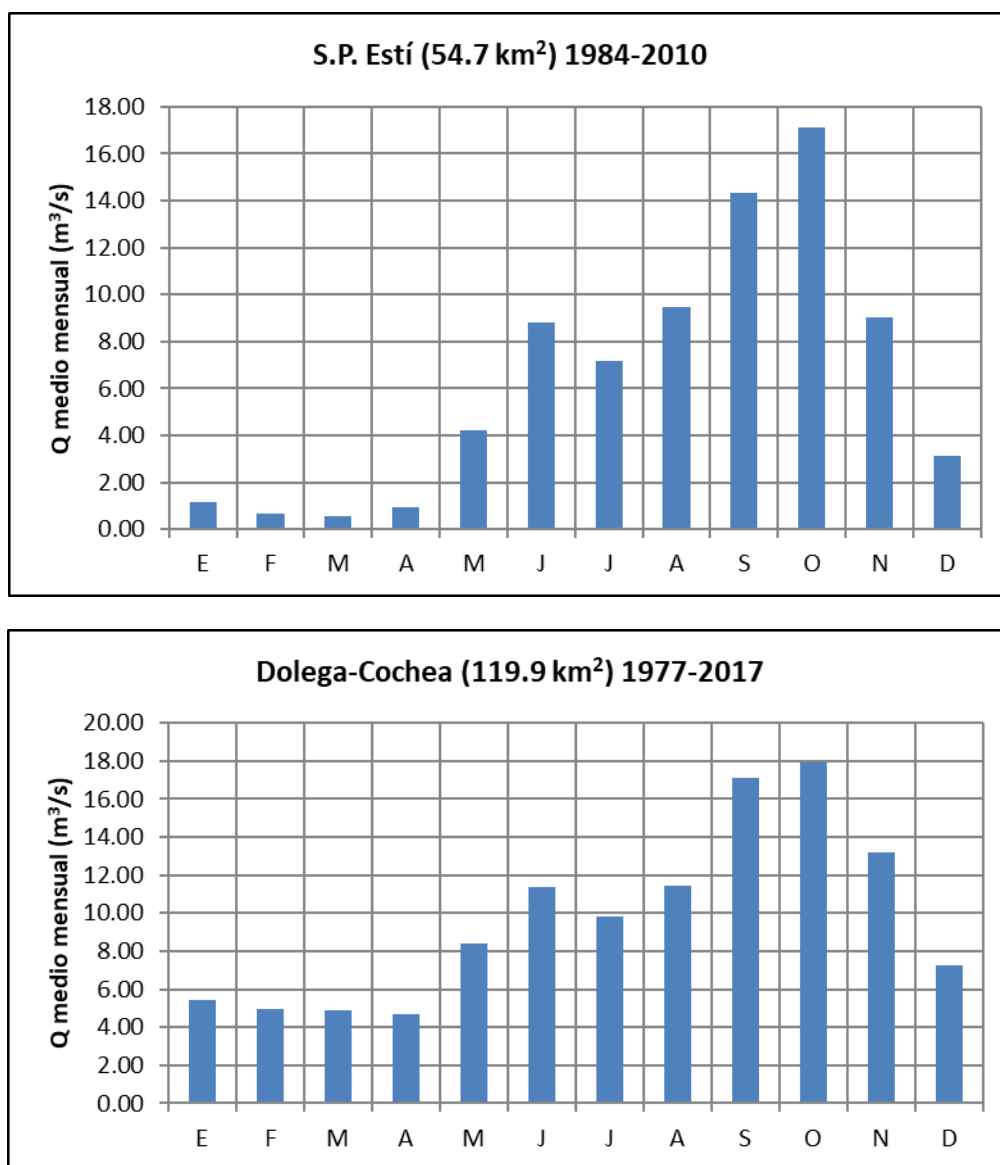
Se cuenta con registros de caudales diarios tanto en el río Cochea como en el río Estí. El primero define una cuenca de 119.86 km², mientras que para el segundo la cuenca es de 52.67 km². Ambos ríos se ubican muy cercanos a la quebrada La Montera, tal como se muestra en la Figura 3.1. El río Cochea es un sistema fluvial bastante más análogo desde un punto de vista morfológico y climatológico, aunque considerablemente más grande en área de drenaje que la quebrada Montera. Por su parte, el río Estí es mucho más cercano en área, pero con una morfología más disímil y además con un régimen de precipitaciones más alto que La Montera. El resumen de caudales medios mensuales de largo plazo (período 1984-2010 en Estí y 1977-2017 en Cochea) se muestra en la Figura 3.4.

El caudal medio anual en el río Estí es de 6.37 m³/s, mientras que el del río Cochea es de 9.71 m³/s. A nivel estacional, se puede notar que existe un comportamiento bien diferenciado entre ambos ríos, sobre todo en lo que se refiere al escurrimiento de época seca. El río Estí tiende a bajar mucho su caudal en los meses de enero a abril, representando el escurrimiento durante esos meses apenas el 4.3% del escurrimiento total del año. En cambio, en el río Cochea, el escurrimiento de época seca llega a ser el 17.1% del escurrimiento total. Este tipo de diferencias usualmente está asociada al comportamiento de los almacenamientos de la cuenca, por lo que puede reflejar que en el sector del río Cochea puede haber una influencia importante de almacenamientos subterráneos que se recargan durante la época lluviosa y descargan paulatinamente hacia los ríos durante los meses secos, distribuyendo de una forma más gradual las variaciones estacionales de caudal.

En términos de producción específica media anual, el río Cochea presenta un valor de 74 l/s/km², mientras que para el río Estí dicho valor asciende a 118 l/s/km². El valor del río Estí es por lo tanto cerca de un 50% mayor que para el río Dolega, lo cual se explica mayormente porque la precipitación media anual de la cuenca del río Estí (5125 mm) es cerca de un 40% mayor a la de la cuenca del Cochea (3654 mm). El resto de la producción específica adicional se puede deber a aspectos propios de la cuenca, en donde probablemente durante la época de lluvias el río Estí presenta mayores tasas de escurrimiento superficial, producto de las mayores pendientes de la cuenca.

Los valores medios anuales de las principales variables hidrometeorológicas de ambas cuencas se muestran en el Cuadro 3.2.

Figura 3.4 Variación estacional media de los caudales en los ríos Estí y Cochea



Cuadro 3.2. Resumen de características hidrológicas medias en las cuencas de los ríos Cochea y Estí

Parámetro	Dolega-Cochea	S.P. Estí
A (km²)	119.86	52.67
P_{anual} (mm)	3654.7	5125.15
Q_{anual} (m³/s)	8.87	6.23
e_{anual} (mm)	2333.8	3730.2
ETR_{anual} (mm)	1320.9	1395.0
C_E	0.64	0.73
q_{anual} (l/s/km²)	74.00	118.28

3.1.3 Traslado de caudales medios a la quebrada La Montera

Para efectos del presente estudio, se contó con los registros de caudales medios diarios recientes en los ríos Estí y Cochea, como se mostró en el apartado anterior. Se aplicó el método de traslado área-precipitación para transponer los caudales registrados en ambas estaciones al sitio de captación de La Montera, con el fin de contar con un registro de largo plazo para la evaluación del nuevo aprovechamiento.

El factor de traslado del método área precipitación se define como:

$$Q_i = Q_{Est} \left[\frac{P_i A_i}{P_{Est} A_{Est}} \right]$$

en donde,

Q_i= caudal medio estimado en el sitio de interés en m³/s

P_i= precipitación media anual en mm hasta el sitio de interés

A_i= área de drenaje hasta el sitio de interés en km²

Q_{Est}= caudal medio registrado en la estación base en m³/s

P_{Est}= precipitación media anual en mm hasta la estación base

A_{Est}= área de drenaje hasta estación base en km²

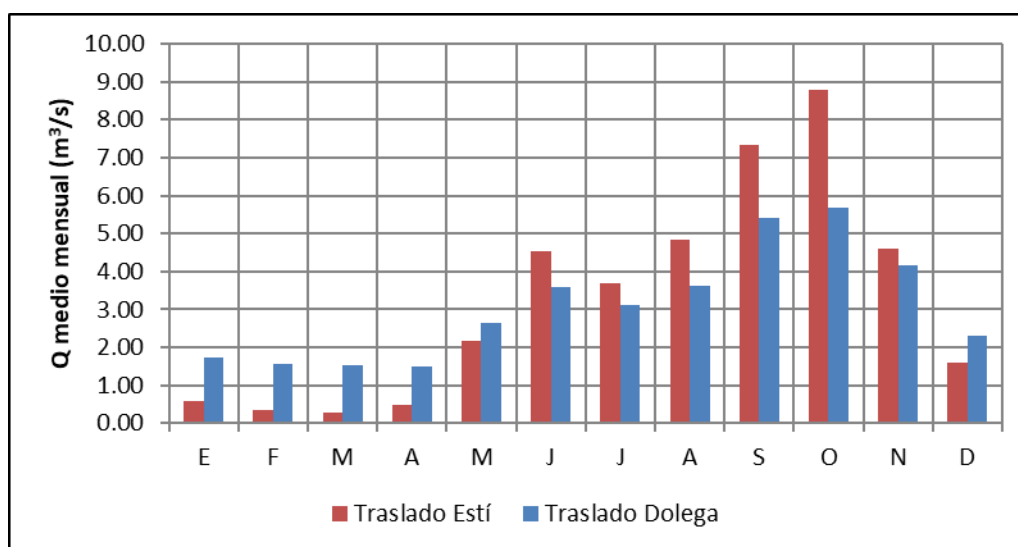
En el Cuadro 3.3 se muestra el cálculo de dicho factor, tomando como estación base tanto las estaciones de los ríos Estí y Cochea.

La variación estacional de los caudales medios mensuales para la quebrada La Montera estimados a partir de las estaciones Estí y Dolega se muestran en la Figura 3.5.

Cuadro 3.3. Factores de traslado empleados para la estimación de caudales en la quebrada La Montera

Parámetro	Dolega-Cochea	S.P. Estí	La Montera
A (km ²)	119.86	52.67	34.58
P _{anual} (mm)	3654.7	5125.15	4003.8
F traslado a La Montera	0.32	0.51	--

Figura 3.5 Variación estacional media de los caudales estimados para la quebrada La Montera mediante el traslado de las estaciones Estí y Dolega

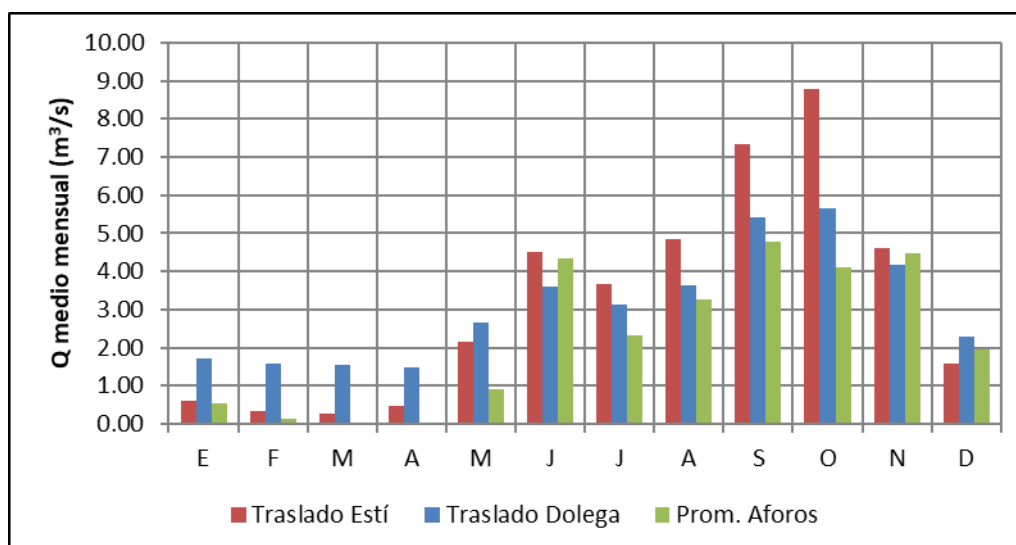


Para la presente revisión se contó adicionalmente con aforos en las cercanías al sitio de toma de La Montera en el período de agosto 2017 a agosto 2018. El Cuadro 3.4 muestra el registro de los caudales aforados en dicho período, la Figura 3.6 muestra la comparación de la variación estacional del registro de aforos y los caudales calculados por medio del traslado de las estaciones Estí y Dolega.

Cuadro 3.4. Registro mensual de caudales aforados en la quebrada La Montera durante el período 2017-2018

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2017								4.85	4.76	4.10	4.47	1.94
2018	0.55	0.13	0.02	0.02	0.89	4.33	2.32	1.65				
Prom	0.55	0.13	0.02	0.02	0.89	4.33	2.32	3.25	4.76	4.10	4.47	1.94

Figura 3.6 Comparación de la variación estacional media de los caudales estimados para la quebrada La Montera mediante el traslado de las estaciones Estí y Dolega y el registro de aforos en la quebrada Montera obtenidos durante el período 2017-2018



Se observa que en el período seco y de transición (meses de Enero a Mayo) los caudales aforados son muy bajos o prácticamente nulos (marzo y abril), según el personal de CELSIA, esta indisponibilidad de caudal se debe principalmente a la existencia de canalizaciones de la quebrada aguas arriba del sitio propuesto para usos agrícolas, de modo que en los meses más fuertes de verano, donde naturalmente se presenta una disminución de los caudales de la quebrada, prácticamente todo el caudal disponible es captado para estos usos.

Para el resto del año, se observa que los caudales aforados presentan una concordancia mayor con el caudal estimado mediante la estación Dolega, mientras que los estimados por medio de la estación Estí son en la mayoría de los casos mayores a los aforados, especialmente para los meses de setiembre y octubre.

A partir de esta información se concluye que la estación Dolega representa de una manera más adecuada los caudales en el sitio propuesto de toma para los meses lluviosos. En el caso de la estación seca, es necesario aplicar un factor de reducción para los caudales, de modo que se tome en cuenta adecuadamente la reducción de caudales disponibles debido los usos agrícolas en el sector aguas arriba.

Se decidió conservadoramente que, para tomar en cuenta el efecto de los usos agrícolas, se restará un valor constante de 1.0 m³/s a los caudales mensuales obtenidos mediante en traslado utilizando la estación Dolega durante los meses secos y el período de transición, que se definió en los meses de diciembre a mayo.

Los valores de caudal medio mensual estimados para la quebrada La Montera para el período 1977-2017, siguiendo la metodología antes descrita, se muestran en el Cuadro 3.5. La variación estacional de dichos caudales se puede apreciar en la Figura 3.7, mientras que la curva de duración de los mismos se incluye en la Figura 3.8.

Cuadro 3.5. Caudales medios mensuales naturales (en m³/s) estimados para el sitio de captación en la quebrada La Montera, para el período 1977-2017 (traslado desde estación Dolega, río Cochea)

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1977	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.27	3.89	4.77	5.82	5.62	2.41	4.30
1978	1.82	1.80	1.73	1.62	2.35	4.57	5.02	4.91	6.33	5.88	4.54	1.81	3.53
1979	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1980	1.06	0.74	0.49	0.94	1.80	4.65	2.62	3.89	4.08	4.55	4.28	1.41	2.54
1981	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1982	0.86	0.50	0.54	0.61	2.13	3.37	2.39	2.19	3.52	5.32	2.33	0.46	2.02
1983	0.32	0.15	0.20	0.22	1.10	2.60	2.95	3.07	7.08	5.95	5.00	0.62	2.44
1984	1.33	0.29	0.76	0.55	2.11	3.10	2.79	5.86	7.79	4.32	3.24	1.76	2.82
1985	0.64	0.28	0.35	0.19	0.58	2.67	2.30	3.08	3.47	3.42	2.63	0.70	1.69
1986	0.99	0.13	0.54	0.41	1.11	3.39	2.32	2.33	6.33	7.28	2.45	0.49	2.31
1987	0.27	0.20	0.01	0.44	0.83	2.06	2.14	3.17	4.13	5.89	2.98	1.10	1.93
1988	1.22	0.90	0.71	0.07	0.55	4.11	4.71	8.97	10.66	6.37	2.80	1.60	3.55
1989	0.66	0.65	0.51	0.23	0.75	2.81	2.74	2.22	4.91	4.32	2.79	2.07	2.05
1990	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1991	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1992	0.91	0.63	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1993	0.83	0.44	0.34	0.54	2.41	3.75	2.66	2.93	4.37	6.58	4.00	1.22	2.51
1994	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
1995	0.16	0.01	0.02	0.41	1.42	4.80	3.51	7.05	6.83	5.57	3.08	1.15	2.83
1996	1.40	0.45	0.25	0.11	1.14	4.27	5.17	4.01	7.03	8.14	3.58	1.03	3.05
1997	0.52	0.22	0.02	0.10	1.57	2.72	2.26	1.57	2.87	4.51	3.77	1.95	1.84
1998	0.54	0.39	0.22	0.05	0.41	2.27	4.42	4.43	7.02	4.92	3.84	1.93	2.54
1999	0.92	0.49	0.23	0.32	1.54	4.42	2.72	3.72	7.71	8.66	5.40	1.73	3.16
2000	0.70	0.47	0.24	0.16	0.90	3.55	2.42	2.73	6.23	4.22	2.74	0.98	2.11
2001	0.34	0.09	0.22	0.08	0.73	2.68	1.94	2.63	5.01	5.16	5.17	1.91	2.16
2002	1.10	0.03	0.00	0.00	0.40	2.39	2.35	2.73	6.53	5.22	4.75	1.24	2.23
2003	0.64	0.40	0.54	0.40	1.85	5.58	4.02	3.17	5.14	7.50	5.93	2.76	3.16
2004	0.59	0.43	0.33	0.19	1.17	2.52	3.05	3.09	6.18	7.64	5.53	1.35	2.67
2005	0.71	0.41	0.44	0.22	0.75	2.56	2.79	2.95	3.48	5.20	4.12	0.45	2.01
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	3.80	3.28	2.67	4.27	5.03	4.40	1.66	2.12
2007	0.70	0.13	0.13	0.19	2.17	4.37	2.75	6.16	9.60	7.01	4.40	1.42	3.25
2008	0.72	0.35	0.18	0.31	1.90	3.34	4.18	5.40	5.56	5.99	8.76	1.24	3.16
2009	0.74	1.86	1.15	0.37	1.37	2.66	3.78	3.16	2.75	4.21	4.09	0.69	2.23
2010	0.09	0.02	0.00	0.35	1.93	5.70	6.57	7.74	8.73	5.49	3.36	0.86	3.40
2011	2.80	8.29	7.88	6.99	8.22	13.01	8.12	3.26	3.78	6.33	3.85	1.07	6.13
2012	0.42	0.19	0.95	0.32	1.89	3.28	3.32	3.59	2.99	5.83	5.11	0.84	2.39
2013	1.61	1.45	1.21	1.51	1.56	2.58	2.71	5.52	12.76	12.94	5.49	0.86	4.18
2014	ND	ND	ND	0.00	0.12	1.46	1.18	1.77	4.21	4.48	2.36	0.29	1.76
2015	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
2016	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
2017	0.91	0.65	0.59	1.39	2.54	3.74	3.60	4.07	6.28	5.67	5.70	1.96	3.09
PROMEDIO	0.84	0.71	0.65	0.76	1.75	3.72	3.39	3.91	5.92	5.87	4.48	1.43	2.83

Figura 3.7 Variación estacional media de los caudales estimados para la quebrada La Montera

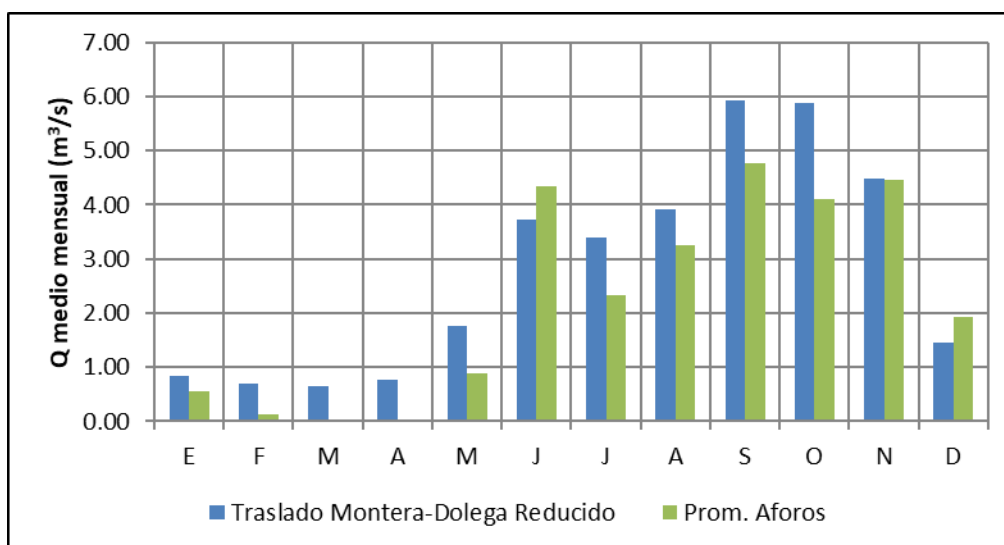
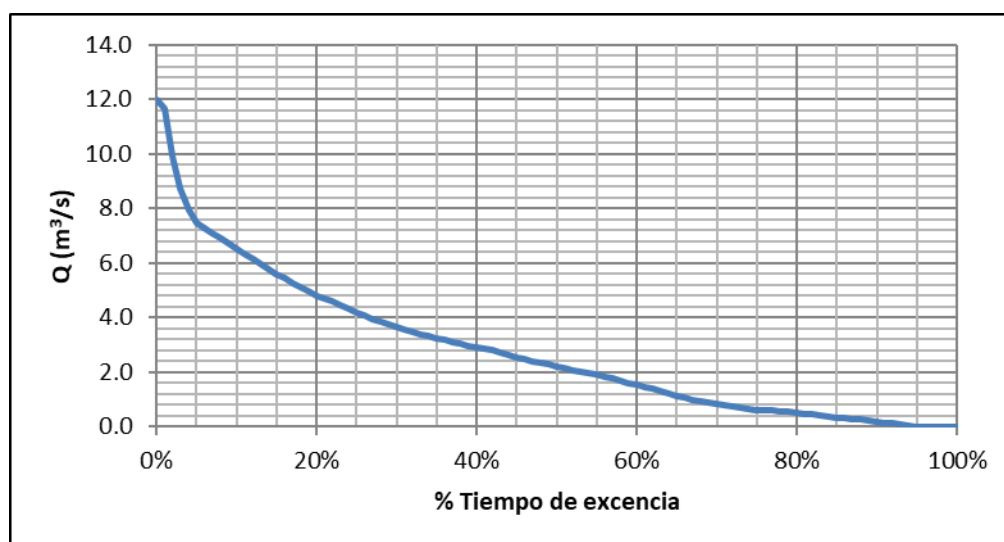


Figura 3.8 Curva de duración de los caudales medios mensuales estimados para la quebrada La Montera



3.2 APROVECHAMIENTO DEL CAUDAL DE LA QUEBRADA LA MONTERA

El objetivo del proyecto de Aprovechamiento Hídrico de Quebrada La Montera es aprovechar parte del escurrimiento proveniente de la quebrada para turbinarlo en las centrales Lorena y Prudencia, incorporándolo al inicio del canal de aducción de Lorena.

A partir del análisis del comportamiento histórico de operación de la central Lorena, se concluye que es posible aprovechar el caudal disponible de la quebrada La Montera inclusive durante los meses más lluviosos, ya que la introducción de dicho caudal al sistema Lorena – El Corro – Prudencia no afectaría el funcionamiento de las unidades o la capacidad de transporte y almacenamiento de caudal de las diferentes obras que componen los proyectos.

El aporte adicional de La Montera sería turbinado directamente en la central de Lorena, y luego se incorporaría al embalse El Corro, donde podrá ser aprovechado también por la central Prudencia.

3.2.1 Estimación de los caudales aprovechables

Sería razonable considerar que es posible que las unidades de la central Lorena puedan operar a una carga ligeramente superior a la de diseño. Un porcentaje entre un 2% y un 5% puede ser un valor razonable que se puede asumir para tal fin. Adicionalmente, para efectos del canal de aducción, un incremento en el caudal en ese orden de magnitud, para las condiciones hidráulicas presentes, no implicaría una consecuencia apreciable, ya que el incremento en el tirante sería apenas de unos pocos centímetros.

Tomando en cuenta estos elementos, sería posible definir inicialmente en 5 m³/s el caudal máximo a captar de la quebrada La Montera. Este caudal representa el 10% del tiempo de excedencia en términos medios mensuales, según se estimó en el capítulo de evaluación del recurso disponible. Sin embargo, de forma conservadora, para efectos de este estudio ese aspecto no se incluirá, y se supondrá que cualquier ingreso adicional de caudal sobre el caudal de diseño no será turbinado y será sacado del sistema antes del ingreso al canal, en el vertedero de alivio en el sector de La Montera.

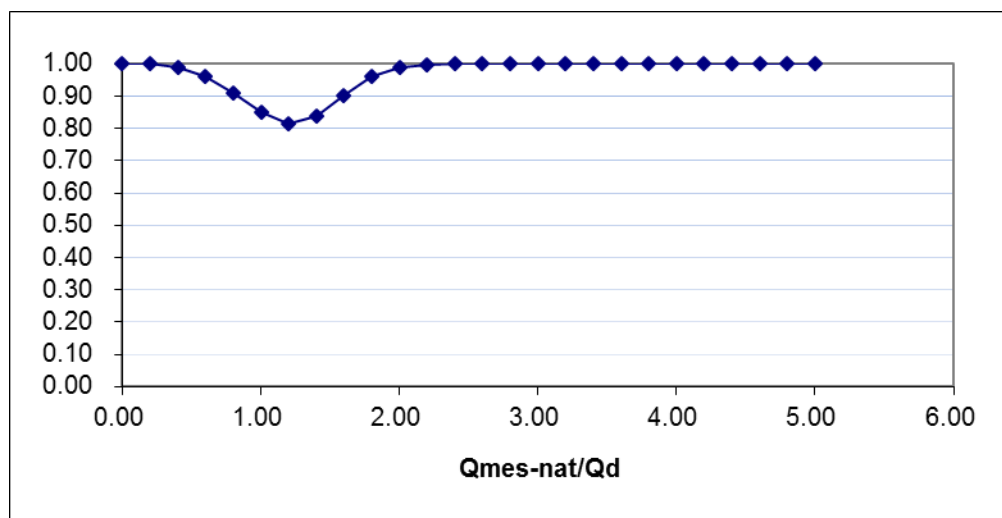
Con este límite de captación se procedió a hacer el cálculo de los caudales medios mensuales aprovechables de la quebrada La Montera, incorporando un factor de corrección por vertidos. El factor F se calcula mes a mes y considera

tanto el caudal natural de cada mes como el caudal de diseño (máximo) de la captación. La expresión para este factor es la siguiente:

$$F_i = 1 - a \left(\frac{Q_i}{Q_d} \right)^c \exp \left(-b \left(\frac{Q_i}{Q_d} \right)^c \right)$$

Con los coeficientes a, b y c con los valores 0.25, 0.5 y 3.5 respectivamente. Estos valores han sido calibrados en diferentes cuencas en Nicaragua y Costa Rica por los autores. Esta función de corrección se puede visualizar en la gráfica de la Figura 3.9.

Figura 3.9 Factor de reducción de caudales medios mensuales por variaciones diarias

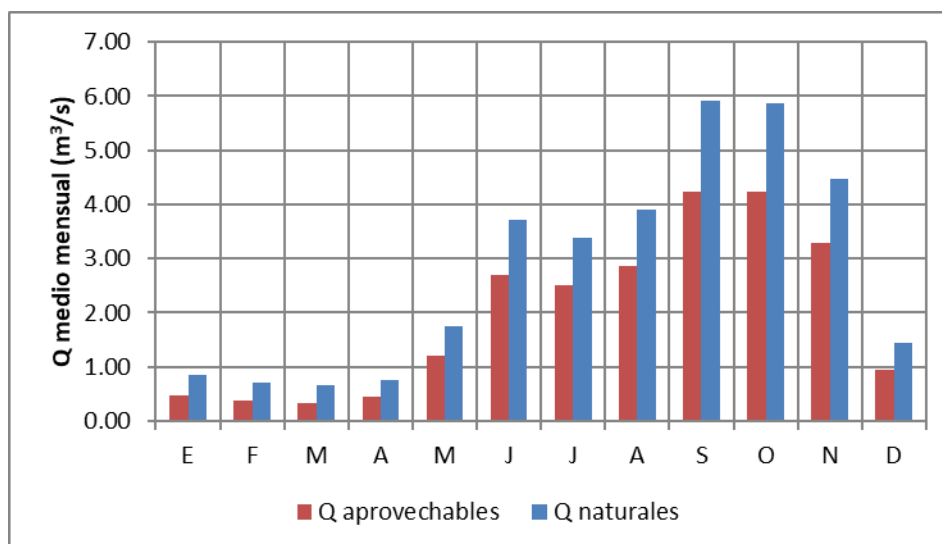


Adicionalmente, se considerará que -por regulaciones ambientales- se exigirá dejar un caudal ecológico mínimo, aun cuando el tramo aguas abajo de la captación sea de apenas 350 m hasta el río Chiriquí. Se asumirá que la magnitud de dicho caudal ambiental será de 0.23 m³/s, equivalente al 10% del caudal medio anual de largo plazo de la quebrada.

Tomando en cuenta este recorte de caudales, se procedió a calcular una serie de caudales adicionales provenientes de La Montera, aprovechables por las 2 centrales. Como una primera aproximación, se fijó un límite en la captación de 5 m³/s, valor que se considera que puede ser manejado por el canal de Lorena aún si éste ya tiene su caudal de diseño de 125 m³/s provenientes de Gualaca. En ese caso, se estimó que el caudal medio anual aprovechable baja a 1.87 m³/s, representando un 81% del escurrimiento medio anual de la quebrada La

Montera. Las estimaciones de los caudales medios mensuales aprovechables para este caso, así como el resumen de su variabilidad media mensual, se muestra en el Cuadro 3.6 y la Figura 3.10 y Figura 3.11, para un caudal máximo en la captación de 5 m³/s. Estos caudales serán los que se les sumarán a los actualmente aprovechados en las plantas Lorena y Prudencia, y que permitirán a estas plantas contar con una generación adicional.

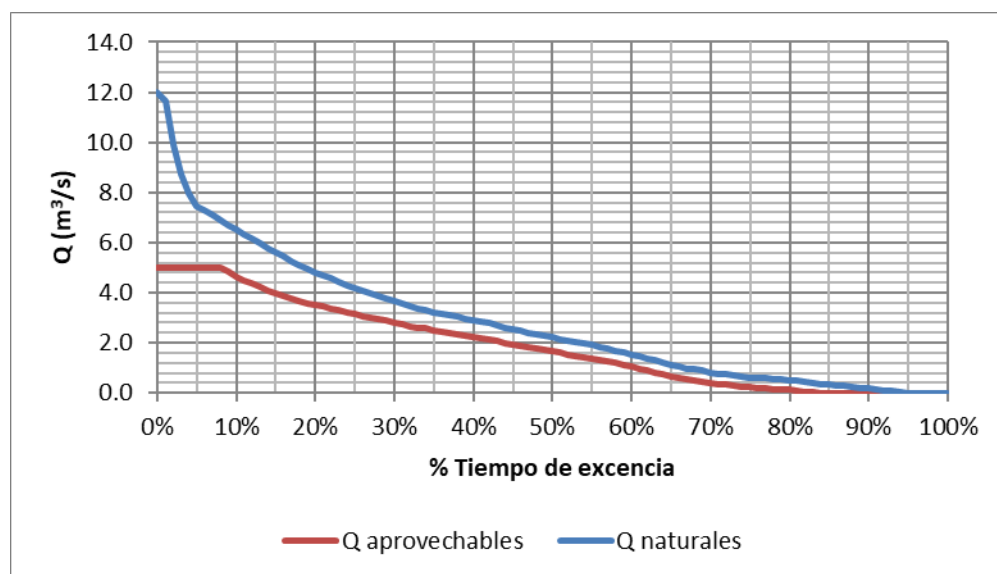
Figura 3.10 Variación media mensual de los caudales medios aportados por la quebrada La Montera a las centrales Lorena y Prudencia – Caudal máximo en captación de 5 m³/s



Cuadro 3.6. Caudales medios mensuales (en m³/s) aportados por la quebrada La Montera a las centrales Lorena y Prudencia – Caudal máximo en captación de 5 m³/s

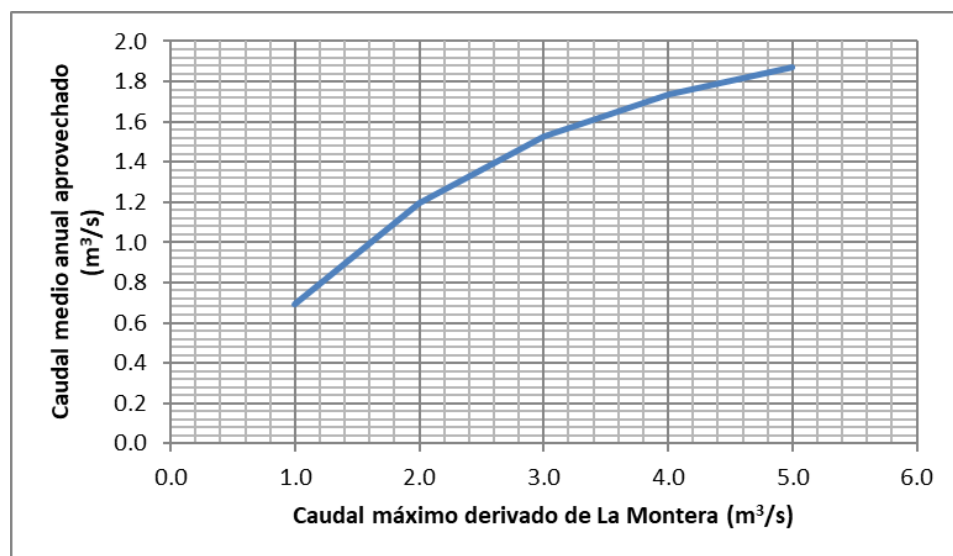
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1977	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.53	2.95	3.52	4.25	4.06	1.80	3.19
1978	1.31	1.28	1.22	1.12	1.71	3.43	3.66	3.57	4.60	4.30	3.35	1.28	2.57
1979	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1980	0.62	0.33	0.11	0.48	1.16	3.42	1.98	2.91	3.02	3.37	3.18	0.92	1.79
1981	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1982	0.44	0.19	0.16	0.21	1.47	2.56	1.80	1.63	2.62	3.94	1.74	0.10	1.40
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	1.92	2.18	2.24	5.07	4.28	3.58	0.27	1.68
1984	0.84	0.11	0.37	0.27	1.51	2.23	2.01	4.21	5.65	3.17	2.44	1.22	2.00
1985	0.27	0.06	0.08	0.01	0.20	2.04	1.71	2.36	2.66	2.61	1.99	0.31	1.19
1986	0.55	0.02	0.27	0.09	0.65	2.58	1.73	1.75	4.46	4.97	1.85	0.14	1.59
1987	0.14	0.07	0.00	0.16	0.42	1.51	1.57	2.40	3.10	4.29	2.29	0.64	1.38
1988	0.80	0.47	0.33	0.01	0.24	2.98	3.51	5.98	6.55	4.49	2.15	1.07	2.38
1989	0.34	0.39	0.22	0.05	0.36	2.14	2.07	1.65	3.63	3.22	2.13	1.48	1.47
1990	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1991	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1992	0.49	0.25	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1993	0.41	0.06	0.02	0.16	1.75	2.73	1.98	2.26	3.23	4.74	2.96	0.77	1.76
1994	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
1995	0.00	0.00	0.00	0.18	0.91	3.46	2.61	4.97	4.79	4.06	2.32	0.70	2.00
1996	0.92	0.09	0.00	0.00	0.72	3.18	3.71	3.03	5.00	5.49	2.74	0.60	2.12
1997	0.14	0.00	0.00	0.01	1.04	1.97	1.64	1.07	2.10	3.33	2.83	1.36	1.29
1998	0.16	0.04	0.00	0.00	0.16	1.67	3.06	3.25	4.98	3.60	2.88	1.38	1.76
1999	0.50	0.12	0.00	0.09	1.05	3.27	2.04	2.80	5.51	6.18	3.92	1.22	2.23
2000	0.30	0.09	0.00	0.01	0.53	2.68	1.82	2.07	4.63	3.17	2.08	0.56	1.49
2001	0.04	0.00	0.00	0.02	0.45	1.95	1.40	1.95	3.68	3.84	3.82	1.32	1.54
2002	0.70	0.00	0.00	0.00	0.23	1.77	1.75	1.88	4.74	3.84	3.54	0.79	1.60
2003	0.25	0.03	0.19	0.07	1.27	4.08	3.00	2.44	3.82	5.58	4.29	2.01	2.25
2004	0.21	0.12	0.03	0.00	0.77	1.90	2.27	2.30	4.59	5.48	4.06	0.88	1.88
2005	0.31	0.04	0.08	0.00	0.45	1.92	2.13	2.15	2.60	3.83	3.09	0.17	1.40
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	2.85	2.48	1.99	3.17	3.66	3.30	1.16	1.57
2007	0.30	0.01	0.05	0.05	1.46	3.23	2.07	4.55	6.60	5.05	3.30	0.95	2.30
2008	0.43	0.17	0.04	0.16	1.47	2.52	3.11	3.98	3.87	4.19	5.13	0.77	2.15
2009	0.38	1.37	0.79	0.05	0.89	2.01	2.78	2.37	2.12	3.13	3.04	0.29	1.60
2010	0.00	0.00	0.00	0.25	1.32	4.04	4.76	5.34	5.94	4.03	2.51	0.51	2.39
2011	2.00	6.55	6.06	5.11	6.45	7.53	5.13	2.49	2.87	4.42	2.86	0.72	4.35
2012	0.23	0.12	0.65	0.14	1.23	2.49	2.47	2.65	2.26	3.98	3.62	0.54	1.70
2013	1.12	0.97	0.76	1.03	1.04	1.91	2.04	3.88	7.34	7.46	4.01	0.45	2.67
2014	ND	ND	ND	0.00	0.01	0.95	0.69	1.23	3.08	3.35	1.74	0.08	1.24
2015	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
2016	0.49	0.25	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
2017	0.49	0.26	0.20	0.88	1.88	2.81	2.74	3.02	4.66	4.27	4.23	1.41	2.24
PROMEDIO	0.46	0.38	0.34	0.44	1.22	2.70	2.50	2.87	4.24	4.24	3.29	0.95	1.97

Figura 3.11 Curva de duración de los caudales medios aportados por la quebrada La Montera a las centrales Lorena y Prudencia – Caudal máximo en captación de 5 m³/s



Se repitió el cálculo considerando diferentes límites máximos de captación en La Montera, con el fin de valorar el efecto de contar con una obra más pequeña para esta derivación, lo cual puede ser interesante para minimizar costos y - sobre todo- para minimizar la intervención en el sector del río, ante potenciales restricciones ambientales. Estos resultados se muestran en la Figura 3.12.

Figura 3.12 Variación del caudal medio anual aprovechado en función del caudal máximo derivado de la quebrada La Montera a las centrales Lorena y Prudencia



3.2.2 Caudales remanentes en el curso inferior de la quebrada La Montera

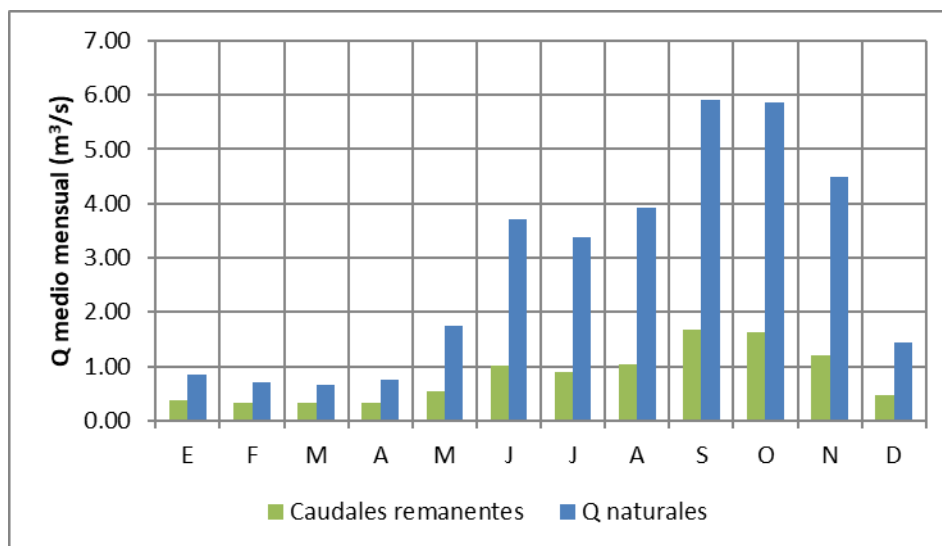
Con la operación propuesta para la quebrada La Montera, un 86% del volumen aprovechado anualmente se obtendrá entre los meses de mayo y diciembre. El 14% del volumen restante se obtendrá entre los meses de enero y abril, en los cuales la disponibilidad hídrica se reduce considerablemente, por la baja en las precipitaciones y por los usos agrícolas que existen aguas arriba. Durante todo el año, se mantendrá un caudal mínimo de 0.23 m³/s aguas abajo de la captación para el tramo de 350 m antes de la confluencia con el río Chiriquí, el cual corresponde al 10% del caudal medio anual de largo plazo de la quebrada La Montera.

Los caudales remanentes en el tramo inferior de la quebrada La Montera, con la operación de la captación, se indican en el Cuadro 3.7 y se muestran gráficamente en la Figura 3.13. Se puede apreciar que el caudal medio anual de la quebrada en ese corto tramo será de 0.82 m³/s y que en los meses más secos del año el caudal medio mensual estará por encima de los 0.32 m³/s, valor mayor al definido como caudal ecológico.

Cuadro 3.7. Caudales medios mensuales (en m³/s) de largo plazo remanentes en la quebrada La Montera aguas abajo de la captación – Caudal máximo en captación de 5 m³/s

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
PROMEDIO	0.38	0.32	0.32	0.32	0.53	1.01	0.89	1.05	1.68	1.63	1.19	0.48	0.82
% del Q natural	45%	46%	48%	42%	30%	27%	26%	27%	28%	28%	27%	33%	29%

Figura 3.13 Variación estacional media de los caudales medios mensuales (en m³/s) de largo plazo remanentes en la quebrada La Montera aguas abajo de la captación



4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

El Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, elaborado por la Gerencia de Hidrometeorología (HIDROMET) de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA), permite hacer una estimación de los caudales máximos instantáneos de las crecientes de la quebrada La Montera. Al ser un análisis regional, se parte de un parámetro simple como el área de drenaje para estimar un caudal índice, al cual se le aplica una serie de factores para estimar caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno.

Para la denominada “Zona 4”, se usa la siguiente expresión:

$$Q_{\text{máx}} = 25 A^{0.59}$$

En este caso, para 33.6 km² el valor de este índice es de 198.8 m³/s. El método plantea factores para estimar los caudales para diferentes períodos de retorno. El resultado del cálculo se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Caudales máximos estimados para la quebrada La Montera (Análisis Regional de Crecidas, ETESA)

TR (años)	Factor	Q _{máx, TR} (m ³ /s)
2	0.93	188.07
5	1.30	262.90
10	1.55	313.46
20	1.78	359.97
50	2.10	424.68
100	2.33	471.20

Para efectos de un diseño de las obras de captación se recomienda realizar análisis hidrológicos mediante modelos precipitación-escorrentía para validar estos datos obtenidos por el método regional.

5. ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN

5.1 ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA LA MONTERA

Para definir los niveles de inundación en la zona del proyecto producto de las avenidas en la quebrada La Montera se realizó una modelización hidráulica 2D de la zona mediante el programa Iber versión 2.5.1.

Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en lámina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios. Iber es desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE), impulsado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Gobierno de España (CEDEX). El modelo Iber es un software de uso libre disponible para descarga en la web.

El modelo requiere de una definición geométrica en 3 dimensiones del área de estudio, parámetros de rugosidad de la superficie, condiciones hidráulicas iniciales y de contorno y una ventana temporal para el cálculo.

Para el modelo se contó con el levantamiento topográfico de la zona donde se plantea el desarrollo del aprovechamiento, con curvas de nivel a cada m. Se analizaron dos geometrías distintas, el caso en condición natural sin las obras planteadas para el aprovechamiento y el caso en condición modificada que incluye la obra de presa y cierre en el cauce de la quebrada La Montera.

La definición de los parámetros de rugosidad se realizó por medio de la información de los materiales presentes en la zona recabada durante las visitas de campo. Los caudales de entrada son los definidos en el apartado 4 del presente documento. La salida de caudal se definió como condición subcrítica a partir de los niveles normales en la confluencia con el cauce del río Chiriquí.

La Figura 5.1 muestra el esquema general de la modelización hidráulica utilizado.

Figura 5.1 Geometría y condiciones para modelización de niveles de inundación producto de avenidas en el cauce de la quebrada La Montera



Los resultados de la profundidad de agua y la extensión de la mancha de inundación para los diferentes períodos de retorno se muestran en la Figura 5.2 a la Figura 5.7.

Figura 5.2 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 2 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera

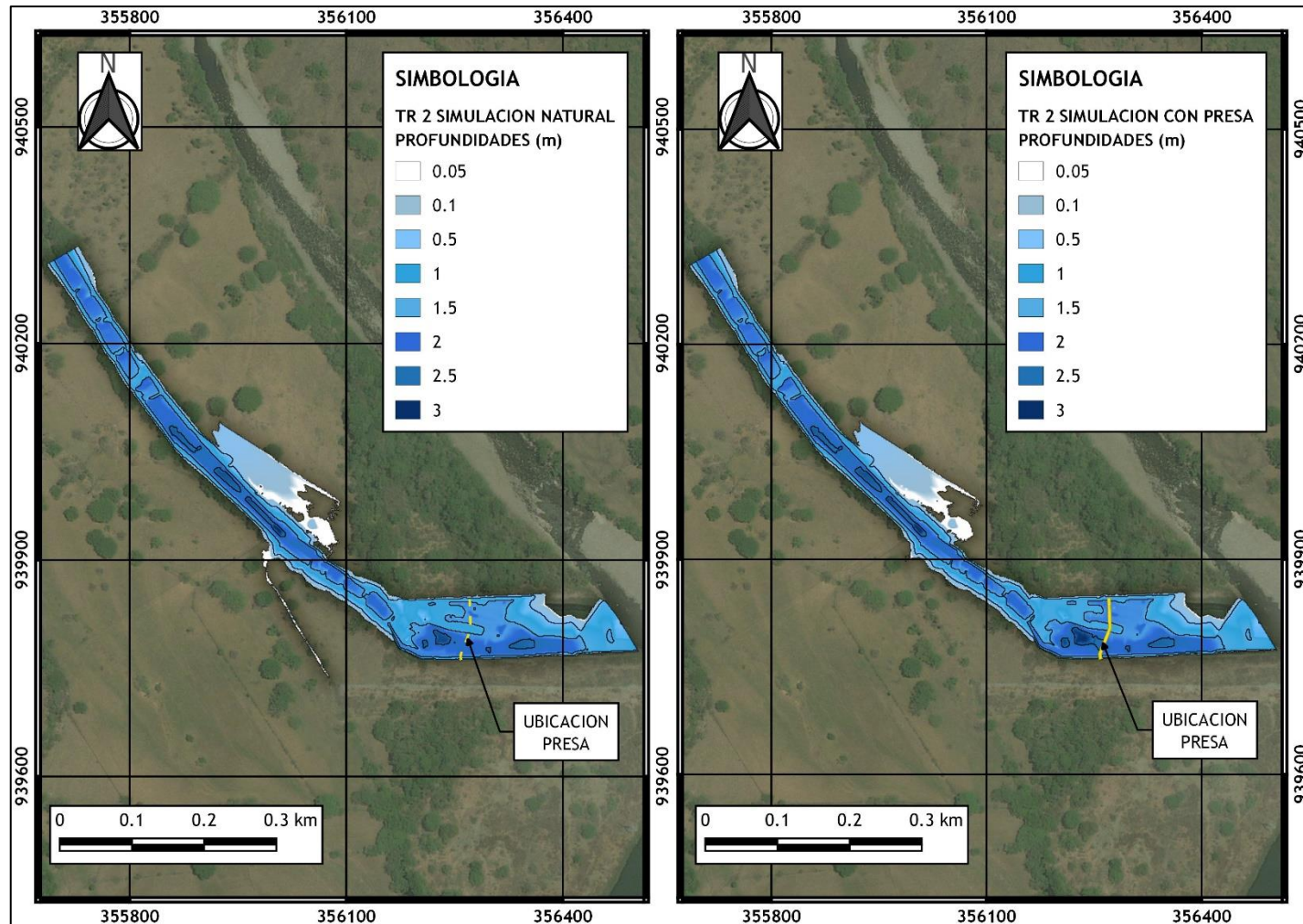


Figura 5.3 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 5 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera

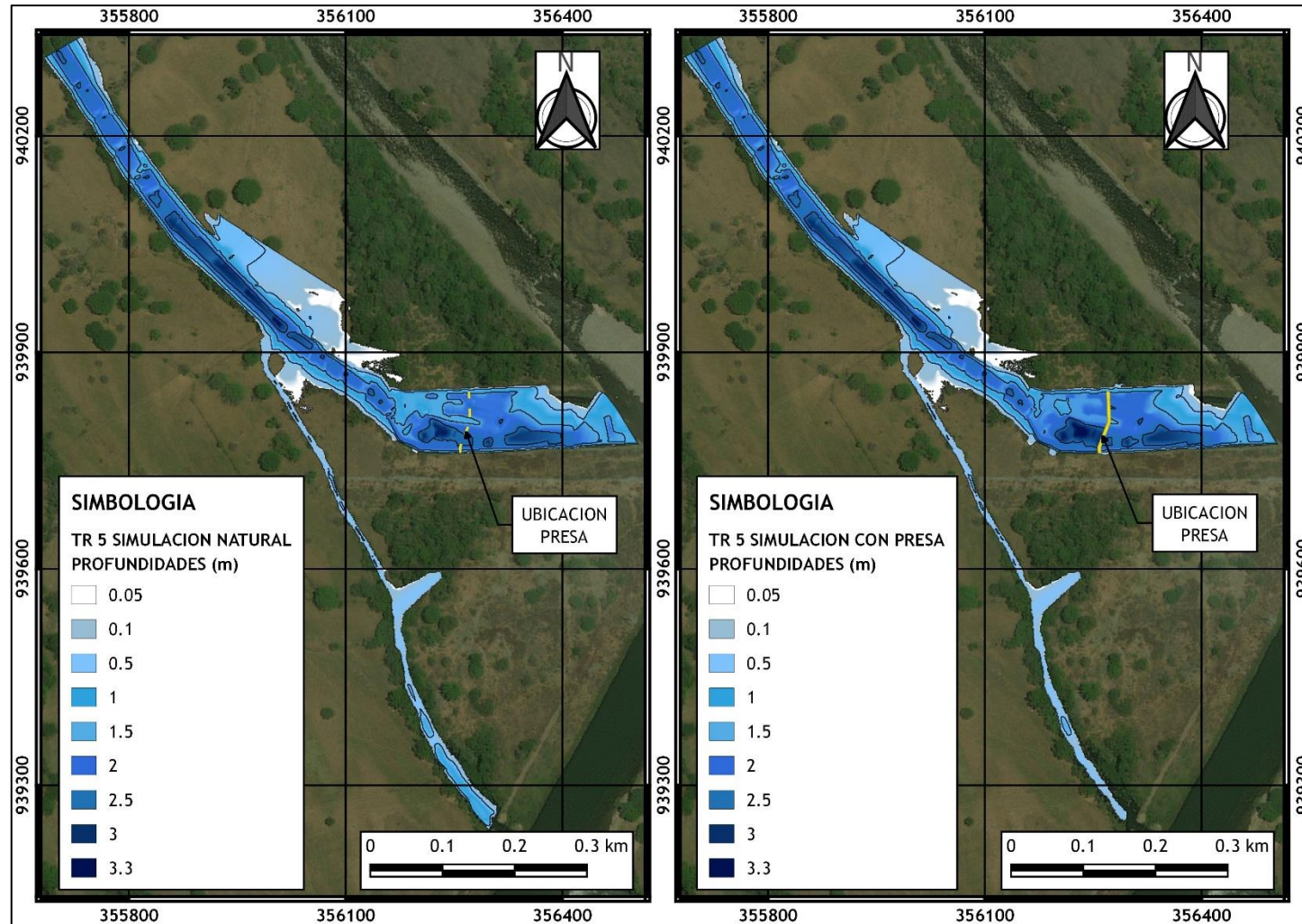


Figura 5.4 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 10 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera

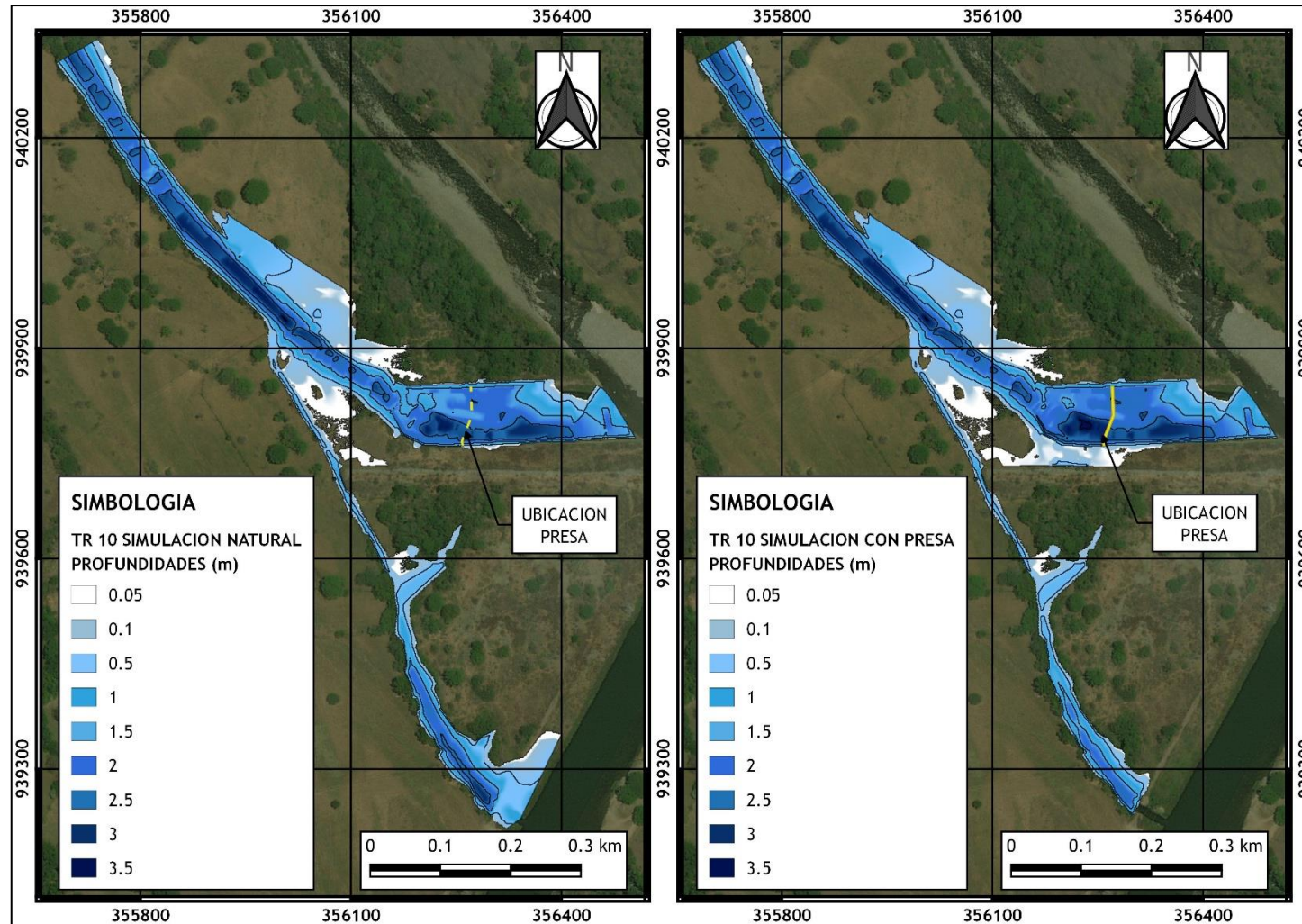


Figura 5.5 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 20 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera

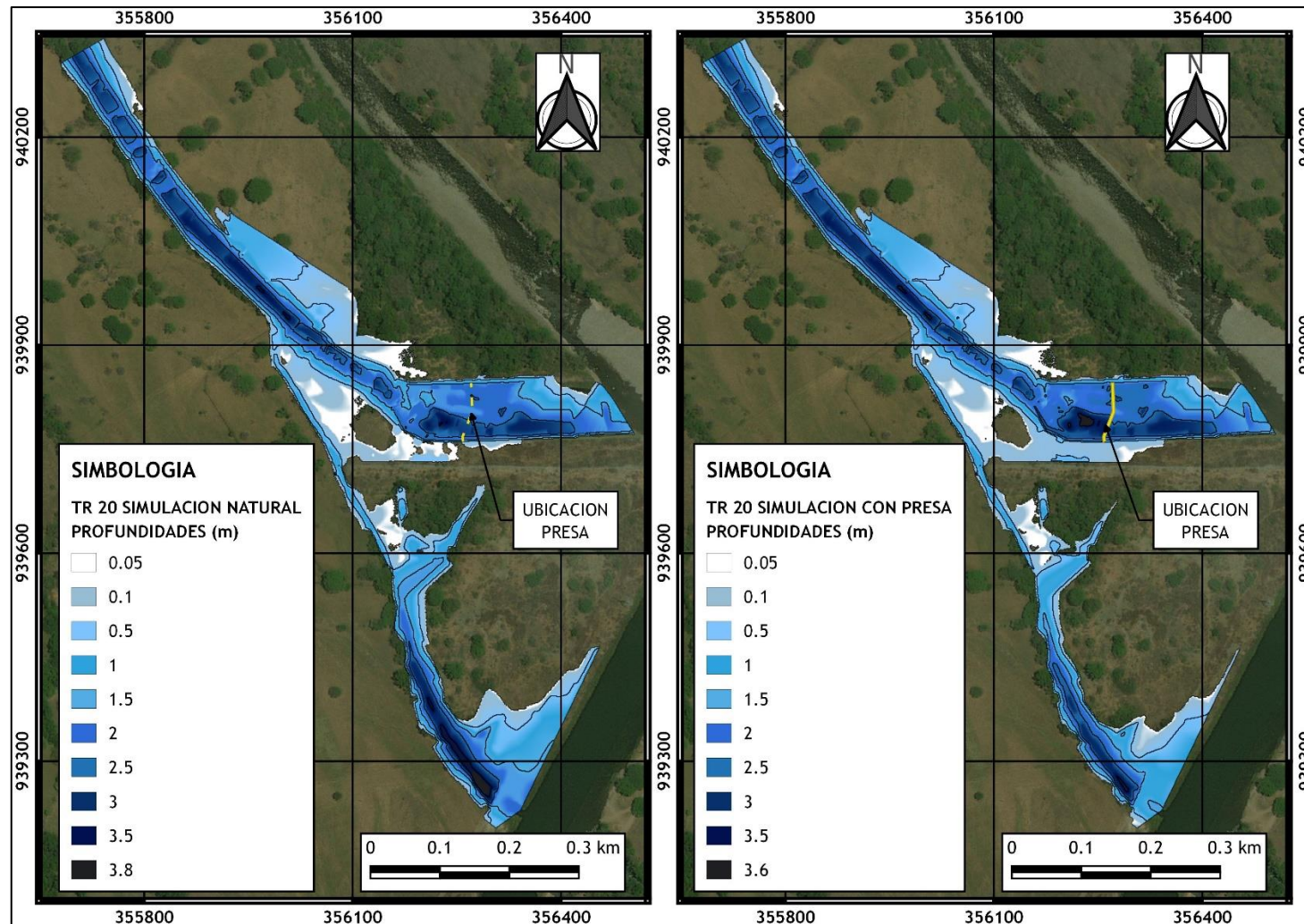


Figura 5.6 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 50 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera

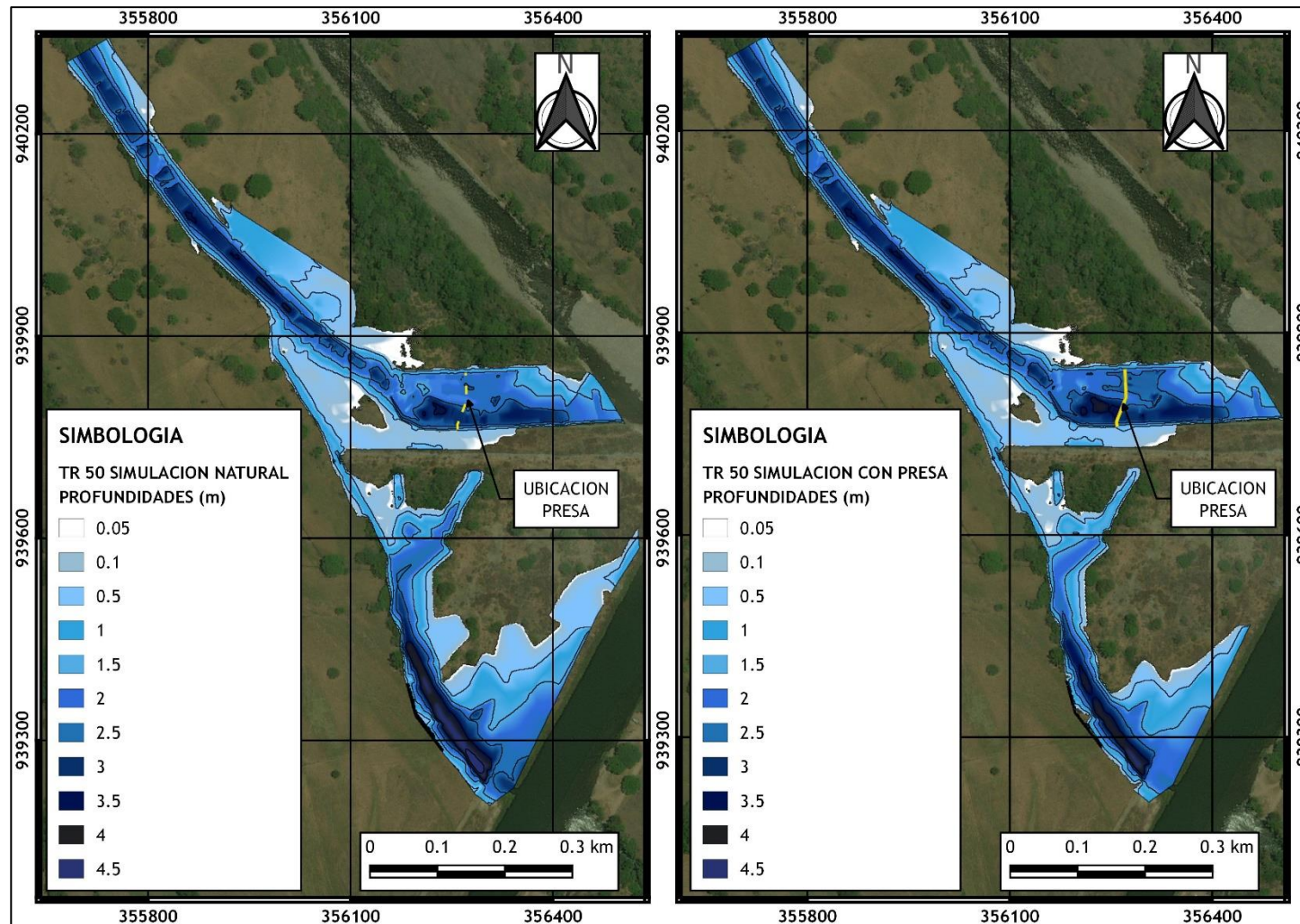
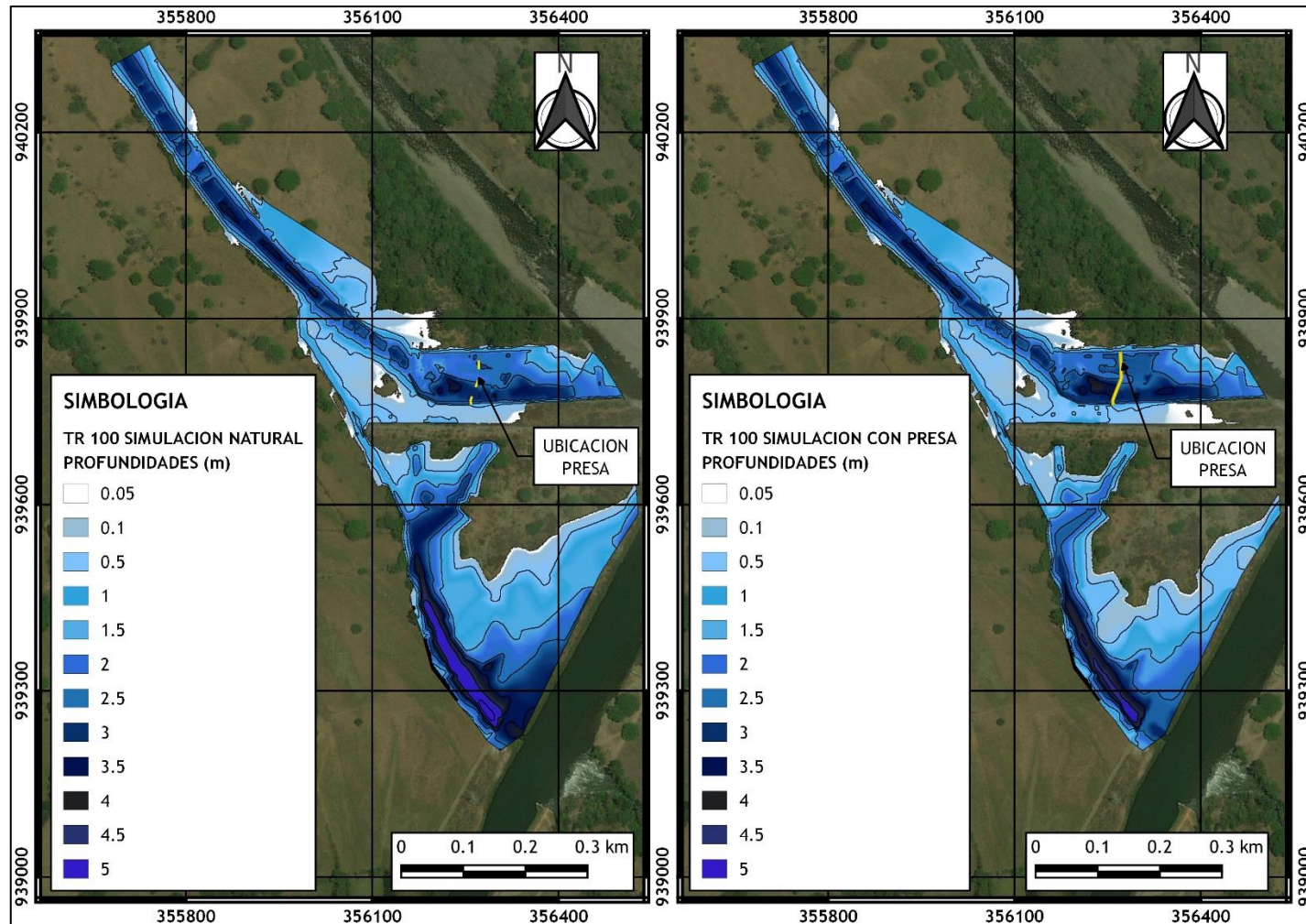


Figura 5.7 Resultados de profundidad del agua y extensión de la inundación para el período de retorno de 100 años, condición natural y condición con obras de presa presentes en el cauce de la quebrada La Montera



5.2 ANÁLISIS DE NIVELES DE INUNDACIÓN EN EL RÍO CHIRIQUÍ

Para el análisis de los niveles de inundación producto de las avenidas que transitan en el cauce del río Chiriquí y su interacción con los niveles en el cauce de la quebrada La Montera se contó con información de un estudio de niveles de inundación proporcionado por SUEZ, dueño original del Complejo Hidroeléctrico Dos Mares, en el año 2013.

Esta modelización se realizó mediante el software River 2D, con los caudales presentados en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Caudales máximos utilizados para el análisis de niveles de inundación en el río Chiriquí

TR (años)	Q _{máx, TR} (m ³ /s)
-	300
-	600
2	1108
10	1774
50	2355
10000	4298

La topografía utilizada para el análisis se presenta en la Figura 5.8.

Los resultados de los niveles de agua obtenidos se muestran en la Figura 5.9, se observa que, incluso para avenidas con períodos de retorno menores a 2 años en la cuenca del río Chiriquí, los niveles de agua producto de las avenidas forman un remanso en el cauce de la quebrada La Montera, de modo que la principal fuente de afectación de la inundación en los terrenos circundantes son las avenidas en el río Chiriquí, las avenidas producto de los caudales de la cuenca de la quebrada La Montera tienen una influencia menor.

Figura 5.8 Topografía utilizada para el análisis de niveles de inundación en el río Chiriquí
(SUEZ, 2013)

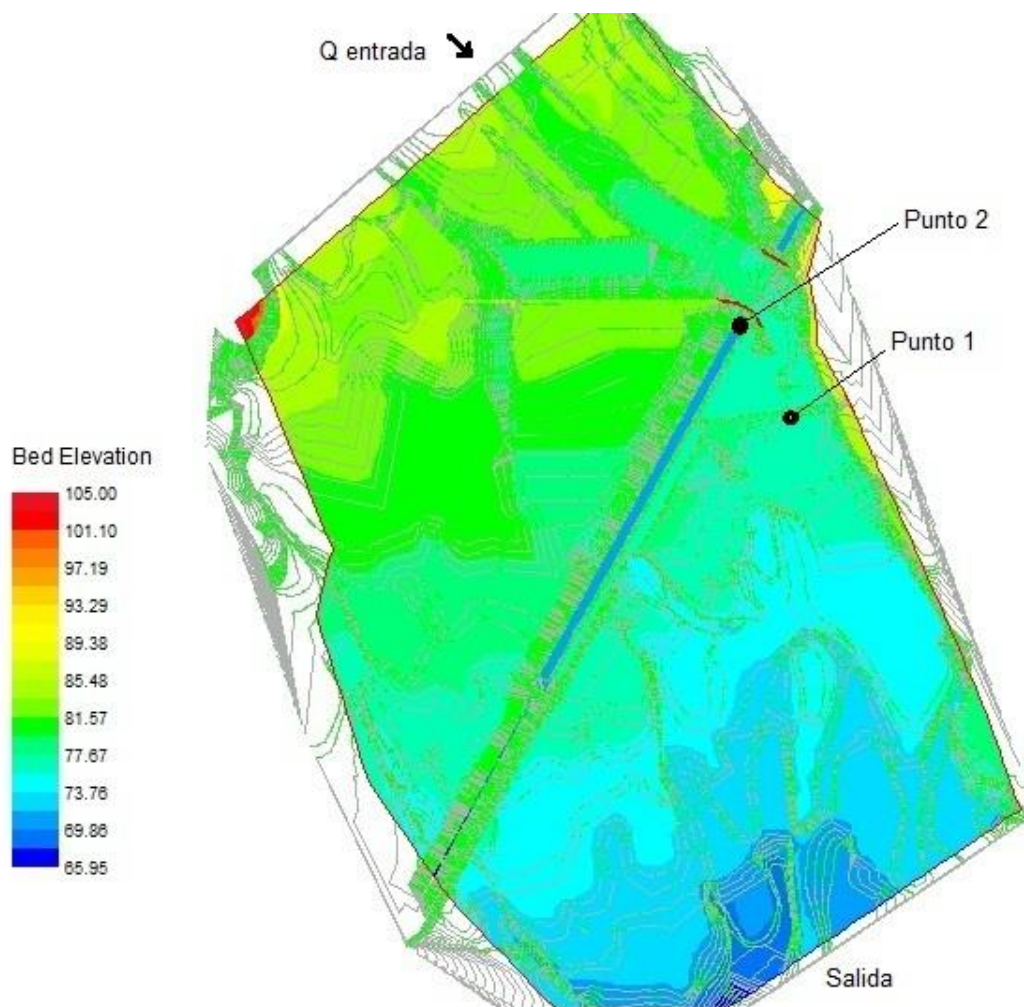
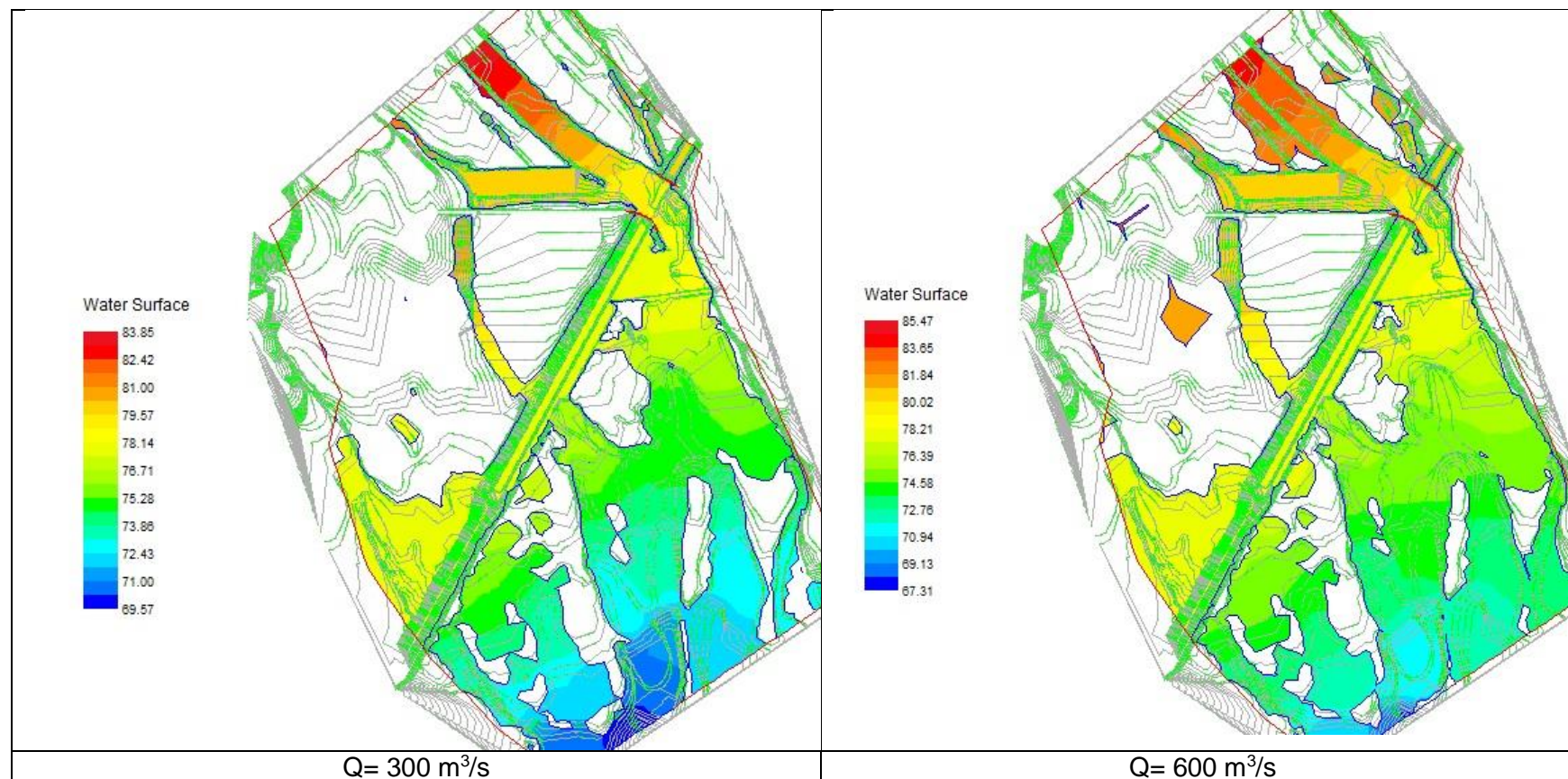
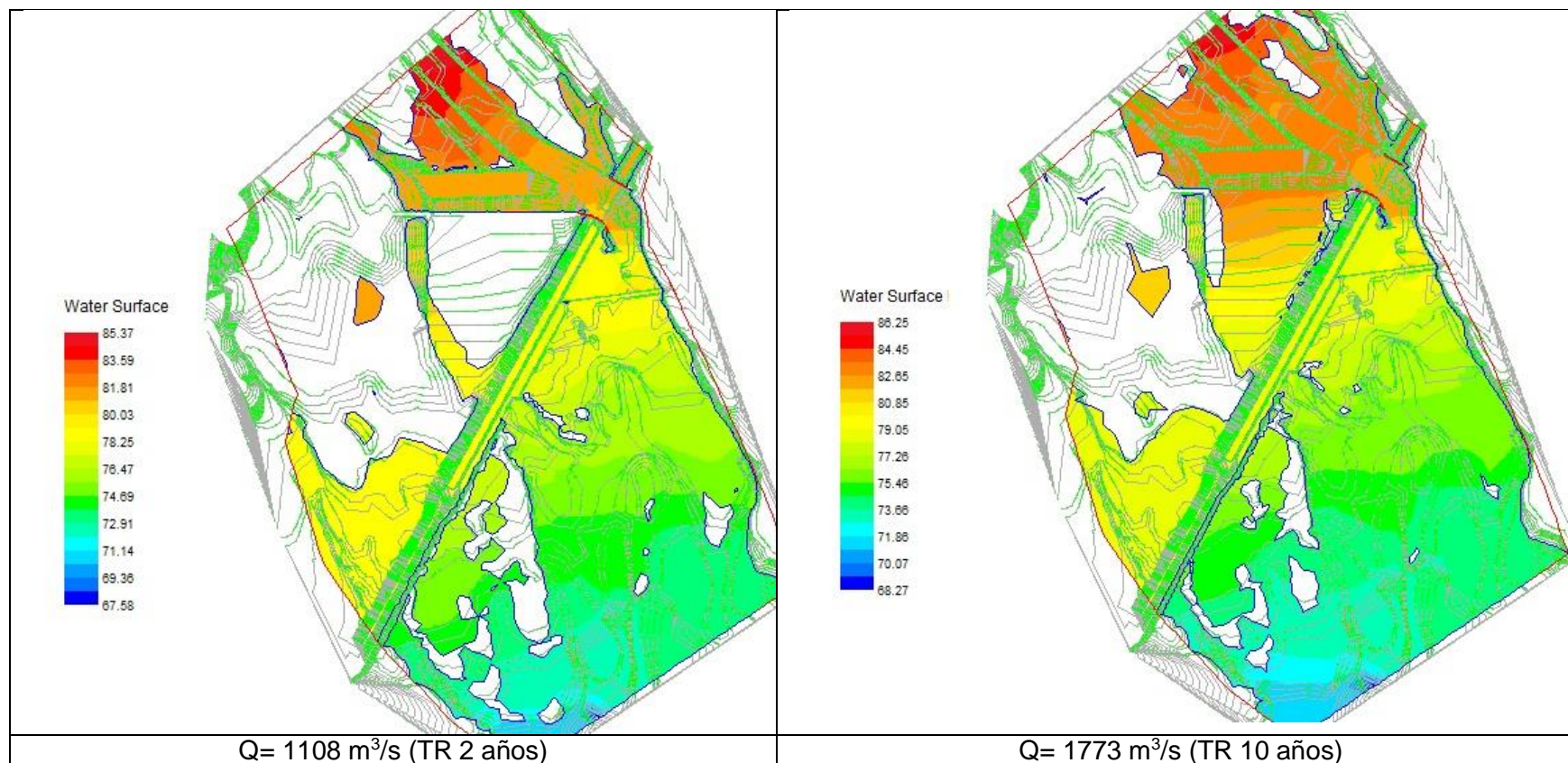
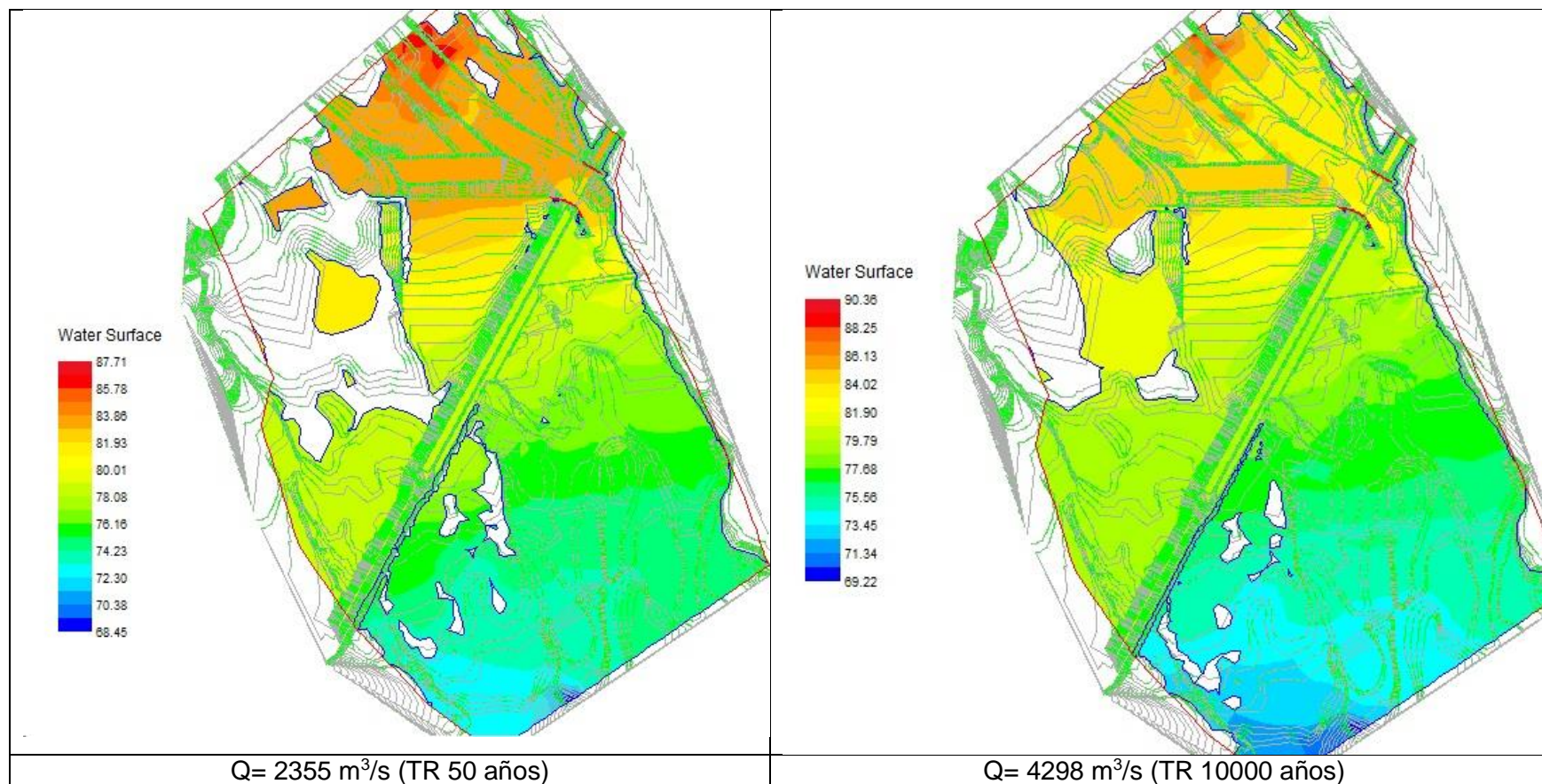


Figura 5.9 Resultados de niveles de inundación en el río Chiriquí para los caudales analizados (SUEZ, 2013)







6. CONCLUSIONES

Se elaboró un estudio hidrológico de la cuenca de la quebrada La Montera. A partir de registros de caudales diarios en las cuencas vecinas (río Estí y río Cochea) y de registros de aforos directos en la quebrada La Montera, se estimó una serie de caudales medios diarios y medios mensuales disponibles en el sector del proyecto. El promedio mensual multianual obtenido se resume a continuación:

Caudales medios mensuales en la quebrada La Montera (m³/s)

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
0.84	0.71	0.65	0.76	1.75	3.72	3.39	3.91	5.92	5.87	4.48	1.43	2.83

Se concluye que la quebrada tiene un caudal medio anual cercano a los 2.8 m³/s. Parte del agua que discurre por esta quebrada puede ser aprovechada por las plantas Lorena y Prudencia mediante una derivación hacia el canal de Lorena, empleando el cauce antiguo de dicha quebrada. Los meses de mayor disponibilidad de recurso son los comprendidos entre junio y noviembre, con valores medios mensuales de entre 3 y 6 m³/s.

Para una capacidad de captación máxima de 5 m³/s, el aprovechamiento de La Montera aportará, en promedio mensual multianual, los siguientes caudales para generación en las centrales hidroeléctricas Lorena y Prudencia:

Caudales medios mensuales aprovechables de la quebrada La Montera (m³/s)

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
0.46	0.38	0.34	0.44	1.22	2.70	2.50	2.87	4.24	4.24	3.29	0.95	1.97

Con la operación propuesta para la quebrada La Montera, un 86% del volumen aprovechado anualmente se obtendrá entre los meses de mayo y diciembre. El 14% del volumen restante se obtendrá entre los meses de enero y abril, en los cuales la disponibilidad hídrica se reduce considerablemente, por la baja en las precipitaciones y por los usos agrícolas que existen aguas arriba. Durante todo el año, se mantendrá un caudal mínimo de 0.23 m³/s aguas abajo de la captación para el tramo de 350 m antes de la confluencia con el río Chiriquí, el cual corresponde al 10% del caudal medio anual de largo plazo de la quebrada La Montera.

Se estimaron también los caudales máximos para diferentes períodos de retorno para la quebrada la Montera en el sector del proyecto, según la metodología del Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, tal como se resume a continuación.

TR (años)	Factor	Q_{máx, TR} (m³/s)
2	0.93	188.07
5	1.30	262.90
10	1.55	313.46
20	1.78	359.97
50	2.10	424.68
100	2.33	471.20

Con las estimaciones de caudales máximos se realizaron simulaciones hidráulicas en 2D para el análisis de niveles de inundación ante avenidas en el cauce principal de la quebrada La Montera en la zona del proyecto, en condición natural y en condición con el proyecto construido. Se concluye de este análisis que en la quebrada se presentan desbordamientos importantes a partir de caudales con período de retorno de 2 años. Además, se verifica que las obras propuestas para la captación no generarán un cambio en los patrones de inundación que ya se presentan en la quebrada, ni causarán afectaciones a las propiedades colindantes.

Adicionalmente se presenta en el informe un análisis de niveles de inundación producto de avenidas en el cauce del río Chiriquí para períodos de retorno entre 2 y 10 000 años, realizado por la empresa SUEZ en el año 2013. Estos análisis permiten concluir que, ya para eventos con un período de retorno de 2 años, la afectación por inundación producto de las crecidas del río Chiriquí es más amplia que la relacionada exclusivamente con los caudales de la quebrada La Montera.