



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”



**INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS
TRABAJADORES
INFONAVIT**



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA
CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

**REPORTE
PROPUESTA DE OBRAS DE NUEVAS OBRAS DE MITIGACIÓN, ESTRATEGIAS
DE SOLUCIÓN GLOBAL Y RESUMEN EJECUTIVO**



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	OBJETIVO.....	3
III.	ALCANCE	3
IV.	LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	4
VI.	CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	10
VI.1.1.-	Clima.....	10
VI.1.2.-	Precipitación pluvial	11
VI.1.3.-	Topografía	13
VI.1.4.-	Fisiografía	14
VI.1.5.-	Geología.....	15
	Depósitos de Abanico Aluvial.....	16
	Depósitos Lacustres	17
	Sedimentos Fluviales	17
	Sedimentos Eólicos	18
VI.1.6.-	Suelos y Vegetación.....	19
VII.	ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL	20
VII.2.	ANALISIS DE LOS HALLAZGOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS	22
VII.2.2.	CONCLUSIONES HIDROLOGIA.....	32
VII.3.	HIDRAULICA	32
VIII.	GEOTECNIA DEL BORDO MMH Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	40
VIII.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
A.	ESTRATEGIA A CORTO PLAZO	45
VIII.2.	Proyecto Geométrico de Prolongación del Bordo MMH	47
B.	ESTRATEGIAS A PLAZO MEDIANO	51
VIII.3.	ACCIONES DE LA ESTRATEGIA A MEDIANO PLAZO	52



I. INTRODUCCIÓN

En Ciudad Juárez, en el estado de Chihuahua, durante la temporada de lluvias se presentan situaciones de riesgo a causa de la intensidad con que se presenta la precipitación. El problema se genera aguas abajo de los principales arroyos y diques que desembocan hacia asentamientos urbanos, incrementando con esto los daños a la población y a la infraestructura urbana en general. Ante esta situación es imperativo llevar a cabo la actualización de los estudios hidrológicos requeridos para los diferentes periodos de retorno en las zonas con un marcado crecimiento urbano, de tal forma que podamos conocer a detalle las modificaciones que se han presentado en las cuencas, con el fin de diseñar las obras de control hidráulico requeridas para salvaguardar tanto la vida como de la propiedad en un ambiente de convivencia armónico y sustentable con el medio ambiente.

II. OBJETIVO

Emitir un instrumento ejecutivo a nivel solución hidrológica e hidráulica global que sintetice las condiciones hidrológicas y esquemas de solución de la subcuenca El Barreal actualizado al 2018.

III. ALCANCE

Generar un documento que englobe la problemática general y condiciones de operación hidráulica actual de la subcuenca El Barreal ante eventos hidrometeorológicos.

NORMATIVIDAD

Al ser El Barreal una cuenca de tipo cerrado o endorreico, sin drenaje a ninguna corriente que desemboque al mar, los escurrimientos y cuerpos de agua de esta cuenca no se consideran como aguas nacionales conforme a la definición de este concepto en el artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, por lo que el manejo y regulación de este sistema hídrico no se somete a la ley de Aguas Nacionales ni a la jurisdicción de la

Comisión Nacional del Agua.

Es entonces la autoridad local quien define la estrategia de manejo de escurrimientos en esta zona. Los instrumentos de ordenamiento territorial en cuanto a escurrimientos disponibles al momento son el *Plan Sectorial de Manejo de Aguas Pluviales* publicado por el IMIP en el 2004 y el *Estudio, Estrategias y Propuestas para el Control y Manejo de agua Pluvial en las zonas Sur y Oriente de Ciudad Juárez, Chih.*, publicado por el Gobierno del Estado de Chihuahua en el 2009.

IV. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

IV.1. Ubicación de la zona del proyecto

El proyecto en cuestión se localiza en el municipio de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua, en la Región Hidrológica “**Bolsón del Hueco**”, en la cuenca definida por el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP) Zona **VIII - El Barreal** al sur de la ciudad, tal como se puede ver en la Figura IV.1.1.

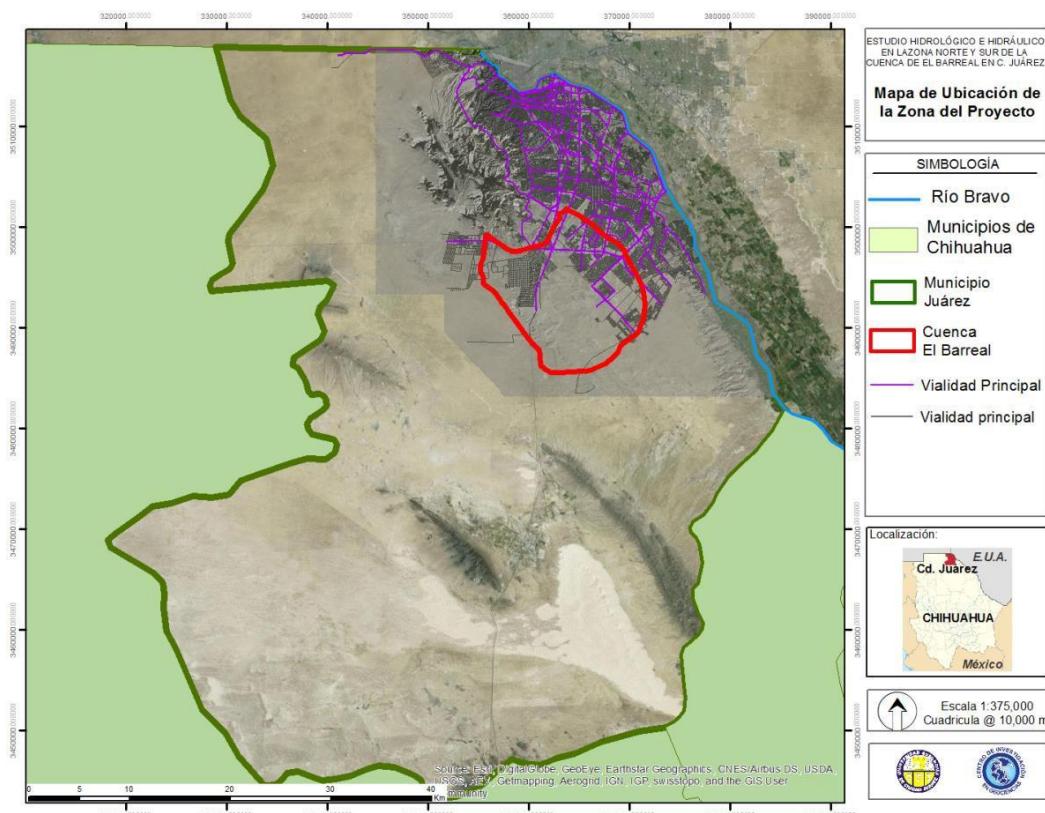


Figura IV.1.1. Localización general de la cuenca El Barreal en Cd. Juárez.

V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO

La cuenca hidrológica del Barreal es una cuenca endorreica donde todos los escurrimientos de tipo intermitente convergen en una zona baja definida como laguna de patos. En esta laguna se han reportado recientemente (2006 y 2008) inundaciones ante eventos de lluvia de hasta 25 años de periodo de retorno. Las inundaciones registradas en esta zona obedecieron al efecto combinado de un tren de lluvias con periodo de retorno de 25 años y falla de estructuras aguas arriba tales como la ruptura de la Presa Santa Elena I, la falta de capacidad de los diques Charly y Santa Elena II, la carencia de una última barrera de blindaje hidráulico de la zona ya desarrollada, además de la colmatación de estructuras de infiltración en algunos de los vasos de contención de cada desarrollo o fraccionamiento localizados en la zona lagunar.

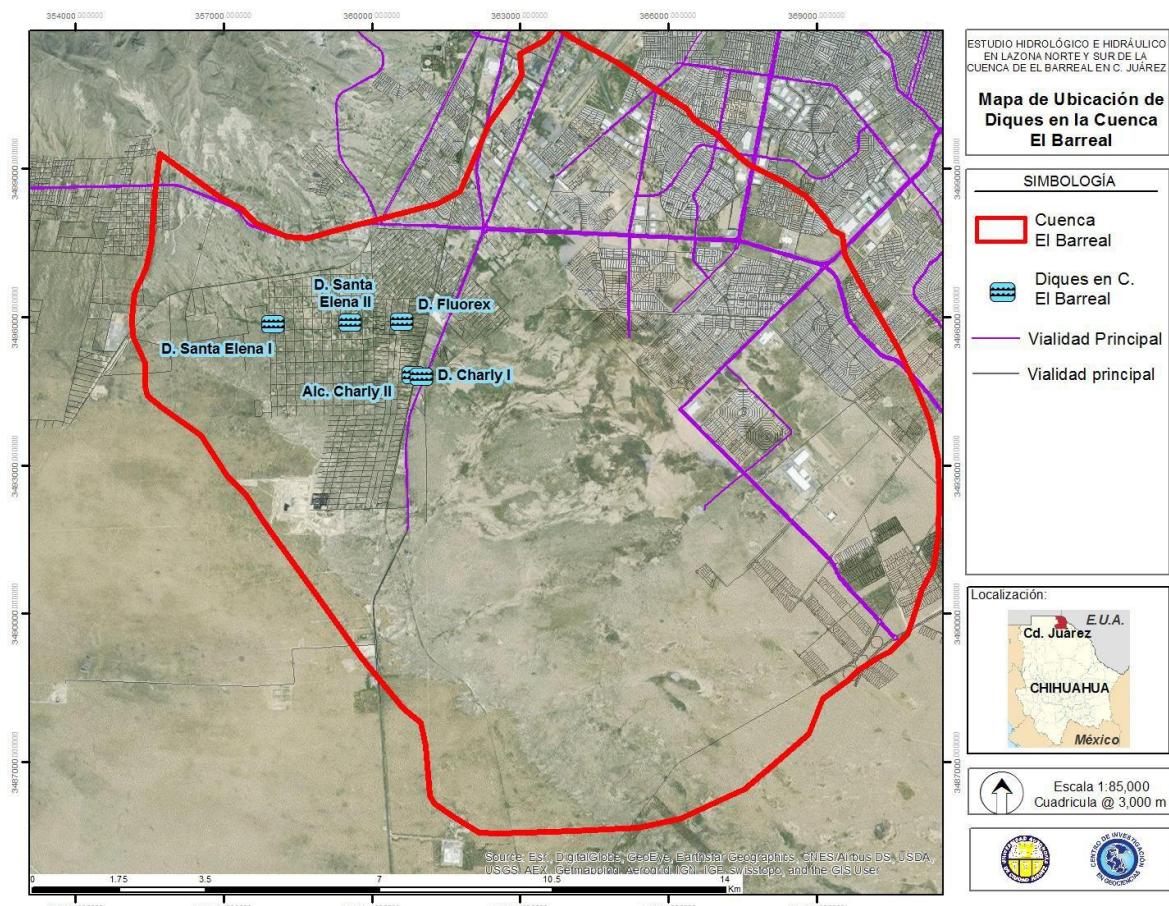


Figura V.1. Localización general de la cuenca El Barreal en Cd. Juárez.



V.1. Descripción de la problemática

Los constantes embates de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, tales como lluvias extraordinarias en los últimos años han ocasionado pérdidas humanas y materiales cuantiosas, así como daños a la infraestructura urbana de la ciudad.

El Barreal es una cuenca cerrada que drena la zona sureste de la Sierra de Juárez (Figura V.1.1). El centro de la cuenca está ocupado por una llanura plana con una superficie de $2,3 \text{ km}^2$. Existen 50 m de diferencia en elevación topográfica entre el punto más bajo en el centro de la cuenca y el punto más alto en la parte noroccidental de la cuenca más cercana a la Sierra de Juárez (Figura V.1.2), así como 15 m y 4 m de desnivel, respectivamente, a las terrazas occidental y oriental más cercana desde el centro de la cuenca o zona lagunar (Figura V.1.3). Los sedimentos acumulados en lo alto de la cuenca se definen por un tamaño de grano más grueso como arenas, mientras que van disminuyendo en tamaño de limos y arcillas hacia el centro de la cuenca.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA"

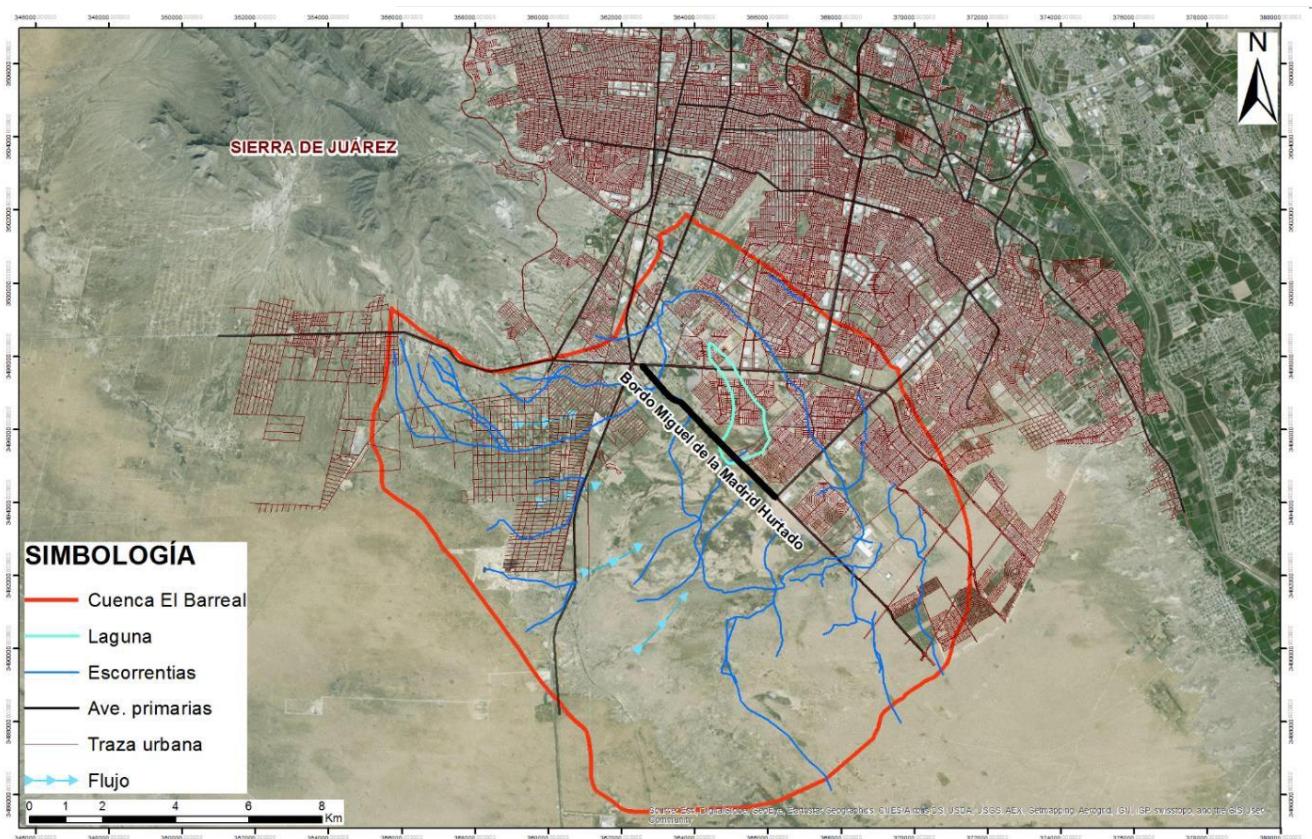


Figura V.1.1. Localización y escurrimientos de la Cuenca Barreal y la subcuenca MMH-TC-BI.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

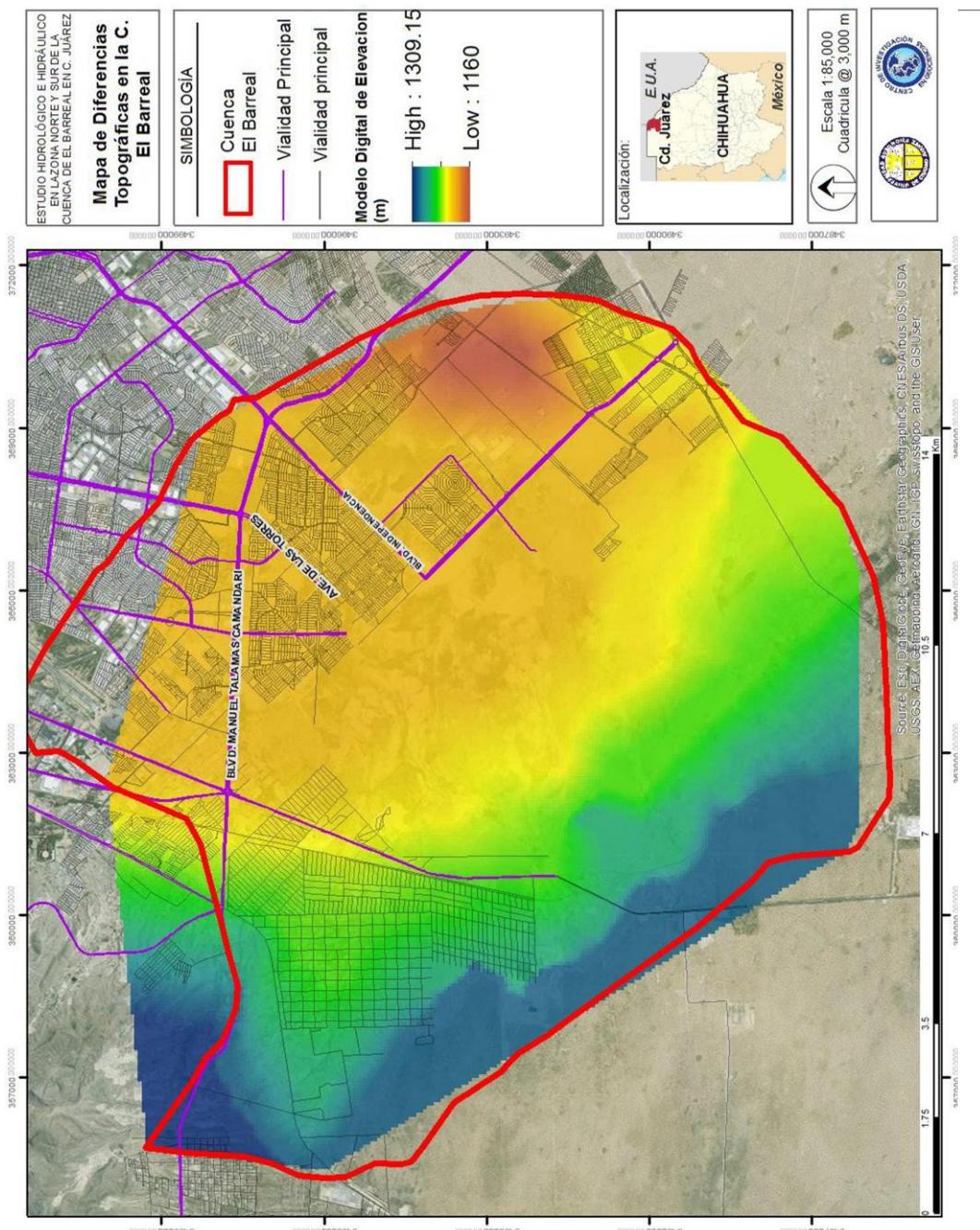


Figura V.1.2. Diferencia de elevación entre las vertientes y centro de la subcuenca Barreal.

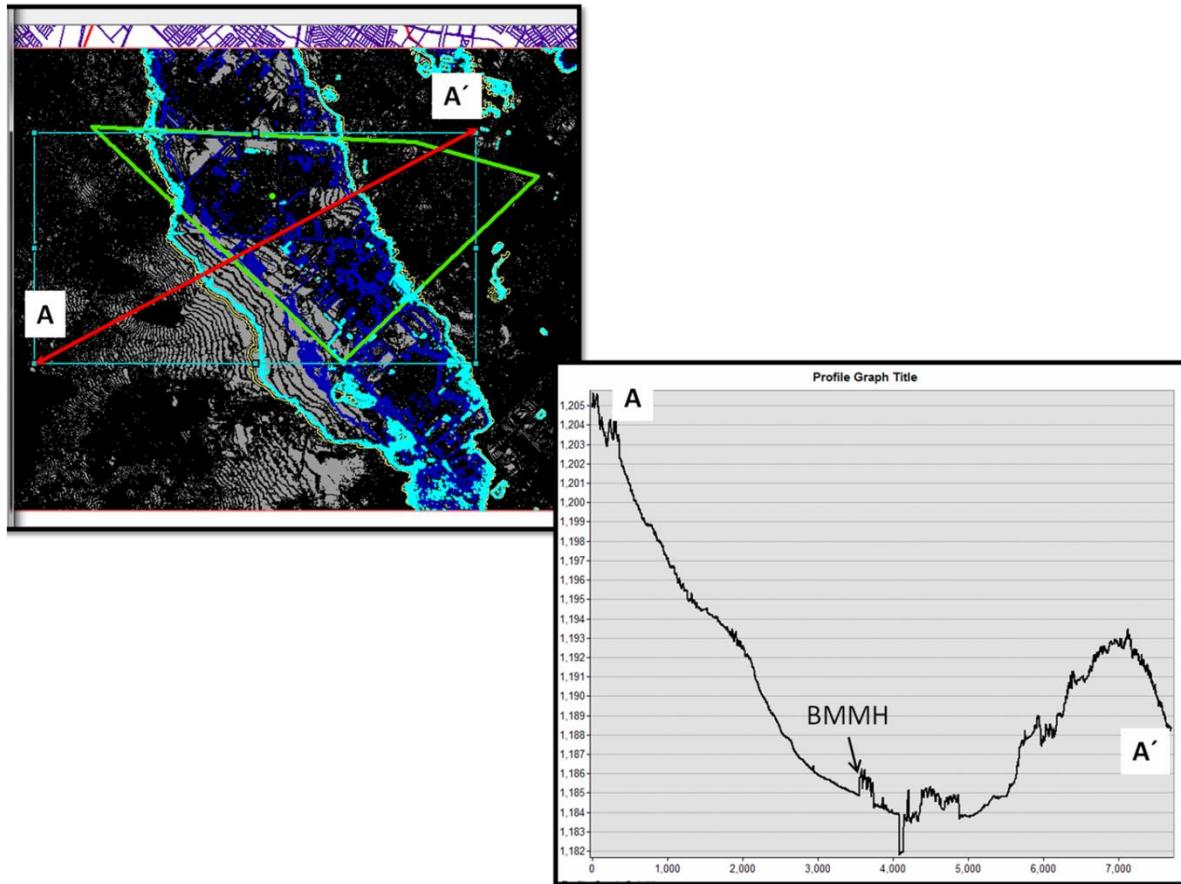


Figura V.1.3. Diferencia de elevación entre las terrazas y centro de la subcuenca Barreal. En verde se muestra el triangulo conformado por las vialidades Miguel de la Madrid, Boulevard Independencia y Talamas Camandari como referencia.



VI. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

VI.1.1.- Clima

El área de estudio se localiza en una franja mundial de clima árido-cálido, lo que genera un clima muy seco, desértico con verano cálido y con temperaturas extremas. La temperatura media anual oscila entre los 12 y 18 grados centígrados. Los meses más fríos se presentan entre noviembre y marzo con temperaturas de menos 3 °C a 18°C, en promedio, y llega a registrar hasta menos 10 °C., siendo enero el mes más frío. En promedio se tienen 47.8 días de bajas temperaturas al año, período durante el cual, se presentan heladas. Los meses con mayor elevación en la temperatura, son los meses de junio, julio y agosto, en los que se registran temperaturas que varían de los 18°C, hasta los 44°C., con una insolación del 80% durante este periodo.

El clima de la zona de acuerdo a la clasificación de Köeppen modificada por García (1981) es BWkx'(e), seco desértico templado con las siguientes temperaturas: media anual de 17.2°C, mínima promedio de 8.5°C y máxima promedio de 25.6°C; con verano cálido y lluvias escasas todo el año. El mes más caliente es julio y el mes más frío es enero. Los vientos predominantes son del Norte y del SW, durante todo el año.



VI.1.2.- Precipitación pluvial

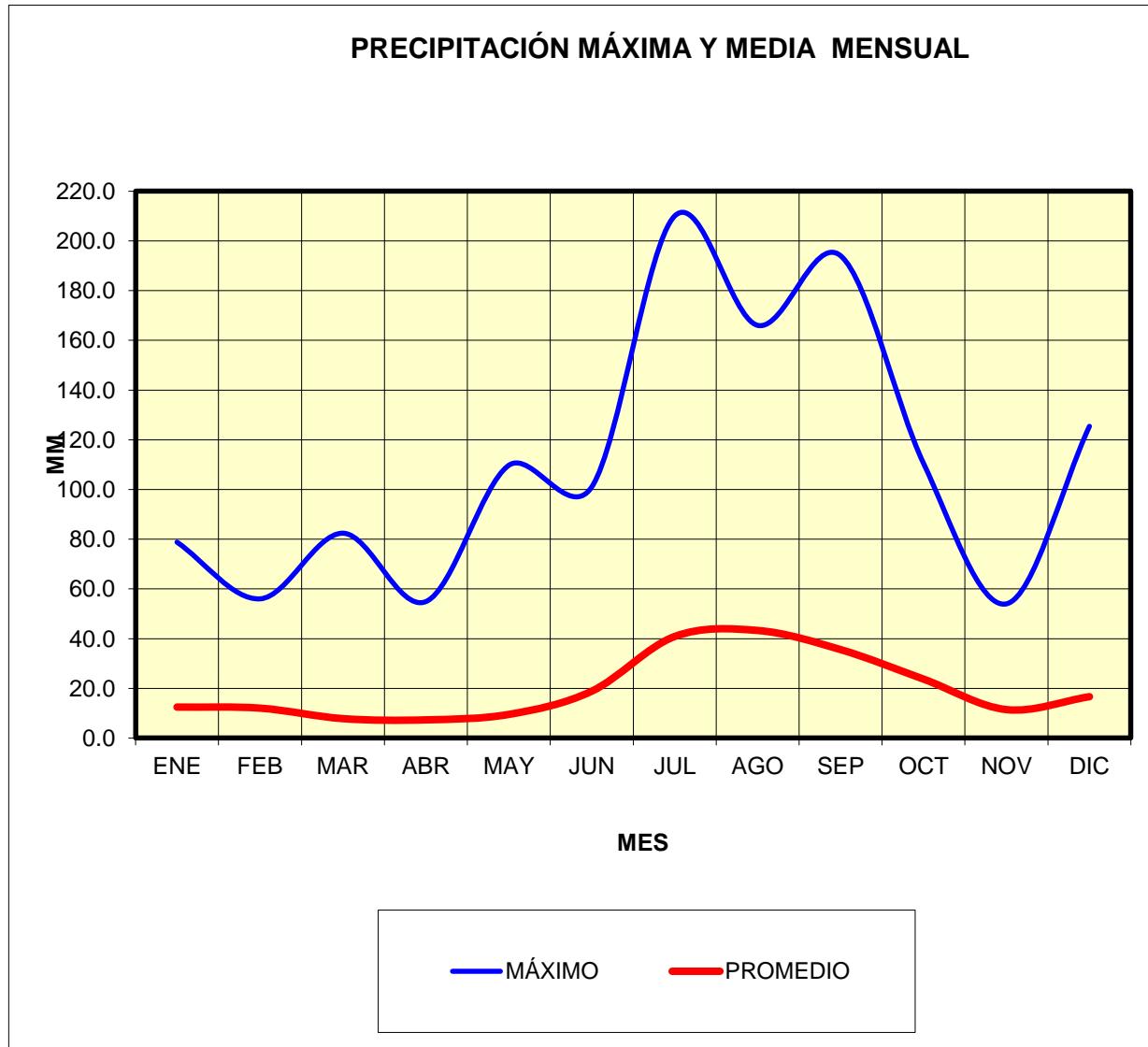
Por lo que respecta a las precipitaciones pluviales, estas son escasas, con un registro promedio anual de 238 mm., las cuales se presentan principalmente en el verano, siendo estas las más importantes. A continuación en la Tabla 1, se presenta la precipitación máxima, media y mínima mensual obtenida del periodo de 1931 al 2006 correspondiendo a un total de 75 años de registro.

Tabla 1. Precipitación media mensual Cd. Juárez, Chih.

PRECIPITACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MÁXIMO	78.8	56.0	82.4	54.9	109.7	101.0	210.0	166.0	194.0	110.5	54.0	125.4	463.5
PROMEDIO	12.5	12.1	7.8	7.3	9.5	18.9	40.8	43.2	35.6	23.7	11.5	16.6	238.5
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”



VI.1.3.- Topografía

La zona tiene un relieve muy particular, característico de una cuenca lacustre, con pendientes topográficas muy suaves, es decir de muy baja pendiente, lo que provoca escurremientos laminares hacia la depresión conocida también como El Barreal, siendo así que la zona presenta pendientes muy ligeras, con valores promedio de 5 al millar, y en general se puede decir que es una zona extremadamente plana, con pocos cambios topográficos, a excepción de algunos sectores en que se ubican pequeños acumulamientos de arenas y limos que son atrapadas por la escasa vegetación en el área (Figura VI.1.3.1).

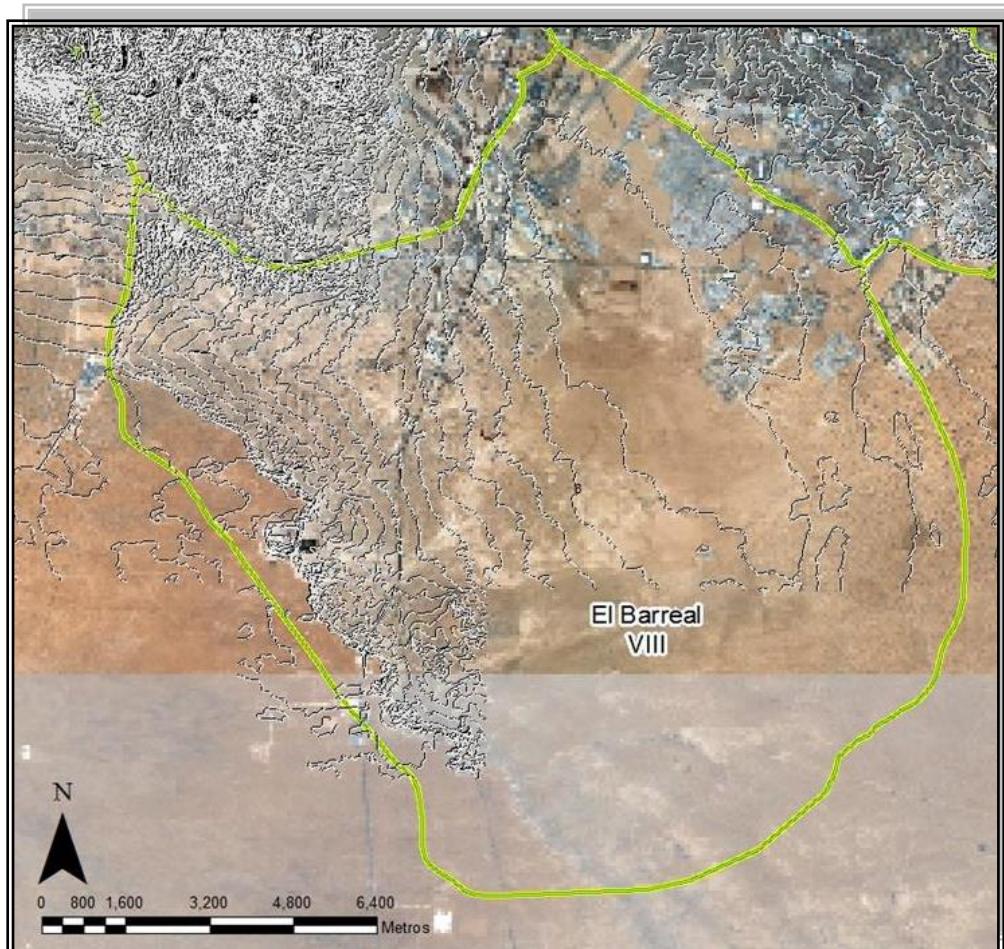


Figura VI.1.3.1 Topografía área de El Barreal.



VI.1.4.- Fisiografía

De acuerdo a la clasificación de Provincias Fisiográficas realizada por E. Raisz, (1964), la zona se localiza en la porción centro occidental de la Provincia Cuencas y Sierras, la cual está limitada al oriente por la Sierra Madre Oriental, al sur por las Sierras Transversales y al occidente por la Sierra Madre Occidental. La Provincia Fisiográfica de Cuencas y Sierras, esta caracterizada por ser una amplia zona desértica en la que sobresalen grandes bloques montañosos, principalmente de rocas sedimentarias marinas de edad cretácica separados por amplios valles, las que durante el Terciario y Cuaternario han sido rellenadas por depósitos aluviales, fluviales y lacustres, a lo que se le ha denominado bolsones, típicos de esta provincia, y caracterizados por su escasa pendiente, y por presentar, en la mayoría de los casos, una laguna en su porción central, a la cual Ordóñez llamó barrial, que en la mayoría de los casos son temporales.

Esta zona también constituye una parte del Bolsón del Hueco, acuífero que se ubica entre los dos países (Mexico-Estados Unidos), corresponde a un graben asimétrico, rodeado por sierras, principalmente bloques fallados inclinados. El fallamiento produjo escarpes fuertes en los flancos orientales de las sierras y moderados en los flancos del poniente. En la porción sur del bolsón la forma asimétrica de la cuenca y el espesor de los rellenos se mantiene casi constante, incluyendo la porción mexicana.

Localmente los rasgos morfológicos más importantes en la zona de estudio son: el Valle del Río Bravo/Río Grande denominado localmente Valle de Juárez/El Paso, las sierras aisladas, angostas y alargadas que presentan una orientación preferencial noroeste-sureste, como la Sierra de Juárez, Presidio, Guadalupe, La Esperanza y San Ignacio; en México; y Montañas Franklin y Hueco en los Estados Unidos, sierras que generalmente presentan un flanco escarpado y el otro con pendiente fuerte, seguido de una zona de transición constituida por lomeríos suaves que desaparecen hacia el centro del bolsón y en las cercanías del río, donde se forma la planicie aluvial del Río Bravo/Río Grande. En el caso de la zona de estudio se tiene una amplia meseta ondulada (terrazas) en la parte alta,



"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

que separa la planicie del Valle de Juárez de la Sierra de Presidio, mientras que hacia el sureste la meseta se convierte en una serie de lomeríos, aumentando notoriamente su pendiente y los escurrimientos se inician desde las sierras de Presidio y de Guadalupe.

La zona de estudio presenta características homogéneas en prácticamente toda su extensión, caracterizándose principalmente por planicies onduladas y lacustres aún cuando también se observan formaciones irregulares de quebradas con lomeríos, tal como se describen en el siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Características del Relieve

Unidades Geomorfológicas	Descripción
Planicie Ondulada	Relieve formado por un conjunto de dunas fijas, Constituidas por arenas finas bien clasificadas, producto de intensa actividad eólica, que actuó sobre las rocas existentes, dándole una forma ondulada.
Planicie lacustre	Es la parte topográfica mas baja de la zona y de pendiente muy suave, constituida por depósitos lacustres, de arenas, limos y arcillas: a esta geoforma pertenece a la zona de inundación de la laguna de El Barreal
Quebradas con lomeríos	Esta zona presenta relieves accidentados por la presencia de lomeríos con diferentes grados de pendiente. Estos relieves son moldeados por la erosión de viento y lluvia, se puede encontrar una combinación de arcilla-arena.

VI.1.5.- Geología

La geología de la zona está representada por sedimentos aluviales, eólicos y lacustres, consistentes en estratos intercalados de arena y arcillas, en estos sedimentos, el tamaño de las partículas dominantes es el de las arcillas y arenas cementadas en los primeros metros, a mayor profundidad predominan los estratos arenosos.

En la porción mexicana del bolsón, las rocas que afloran son del Mesozoico y Cenozoico. Las primeras están representadas por una secuencia marina depositada en un marco sedimentológico transgresivo en la paleocuenca de Chihuahua y en el borde de la



"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

paleopenínsula de Aldama. Esta secuencia es de carácter arcillo-arenoso hacia la base, calcáreo-arcilloso en su parte media y termina en calcáreo de facies postarrecifal.

El Cenozoico en la región evolucionó como un área continental: la cual es representada en el Terciario por rocas intrusivas de composición ácida e intermedia, y por depósitos conglomeráticos durante el Terciario, y por depósitos de sedimentos clásticos gruesos a finos de origen aluvial, lacustre, fluvial y eólico durante el Cuaternario. En la Figura se presenta el plano geológico De acuerdo a un pozo perforado en la porción estadounidense, estos depósitos presentan un espesor máximo de 2743 m (Meyer, 1976), acuñándose hacia las estribaciones de las sierras que los limitan al este y oeste. En la porción mexicana del bolsón de acuerdo a un estudio de geofísica (Burgos, 1996), el espesor de los sedimentos es del orden de los 2000 m.

Estratigráficamente estos sedimentos de bolsón en donde presentan el máximo espesor, sobreyacen discordantemente a un granito de edad precámbrica, y más al este, a una formación calcárea del Paleozoico; y subyacen a los depósitos de edad cuaternaria consistentes en arenas eólicas y en sedimentos fluviales recientes

En los pozos de agua potable de Cd. Juárez, los sedimentos de depósitos de bolsón perforados, consisten principalmente en estratos de arena, arcilla y ocasionalmente de grava. En forma general los depósitos de bolsón presentan una granulometría gruesa en las estribaciones de la sierra, y fina en el centro del valle, en ambos lados de la frontera internacional. Los sedimentos de bolsón presentan cuatro facies sedimentarias: depósitos de abanico aluvial, lacustres, fluviales y eólicos.

Depósitos de Abanico Aluvial

Estos depósitos son conglomerados poco consolidados, constituidos por estratos gruesos de gravas, arenas y arcillas, o mezclas de dos o de los tres constituyentes. Los estratos de estos depósitos son de espesor y extensión muy irregular, desapareciendo o cambiando



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

lateral y verticalmente su granulometría en forma gradual, predominando generalmente, los estratos con alto contenido de grava y arcilla; y existiendo en menor proporción estratos de arena y/o arcilla.

Estos conglomerados están asociados a depósitos de abanicos aluviales de edad Terciaria y probablemente en algunos casos, la edad de estos abanicos se extienda hasta finales del Terciario y principios del Cuaternario (Plio-Cuaternario).

Depósitos Lacustres

Hacia el este y sureste de la porción estadounidense del bolsón, los depósitos lacustres están constituidos de gruesos depósitos de limos y arcillas depositados en ambiente de baja energía (Heywood, 2001), mientras que en la zona urbana de Juárez, consiste de arenas finas, limos y arcillas, al menos los primeros 300 m de profundidad; mientras hacia el Valle de Juárez (sureste) encontramos arcillas y limos con pocos estratos de arena, al menos hasta los 500 m de profundidad.

Sedimentos Fluviales

Estos sedimentos son aquellos que han sido depositados principalmente por el Río Bravo/Río Grande y por algunas corrientes menores, variando en edad del Terciario al Reciente. Los sedimentos fluviales de edad terciaria, corresponden a los sedimentos depositados en el paleocanal del Río Bravo/Río Grande localizado al oriente de las Montañas Franklin con una orientación de norte a sur y consisten principalmente en estratos de arenas finas y gravas con intercalaciones de limos y arcillas. Los sedimentos fluviales recientes se encuentran distribuidos en los cauces de los arroyos principales de la zona y en las márgenes del Río Bravo/Río Grande. En los cauces de los arroyos, los depósitos son de gravas y arenas mal clasificadas y de poco espesor; mientras que los sedimentos depositados por el Río Bravo consisten de arenas finas y gruesas con poca arcilla en la

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

zona urbana de Juárez, mientras que aguas abajo pasan a un predominio de arenas, gravas y arcillas. Estos sedimentos tienen espesores que varían de 30 a 90 m.

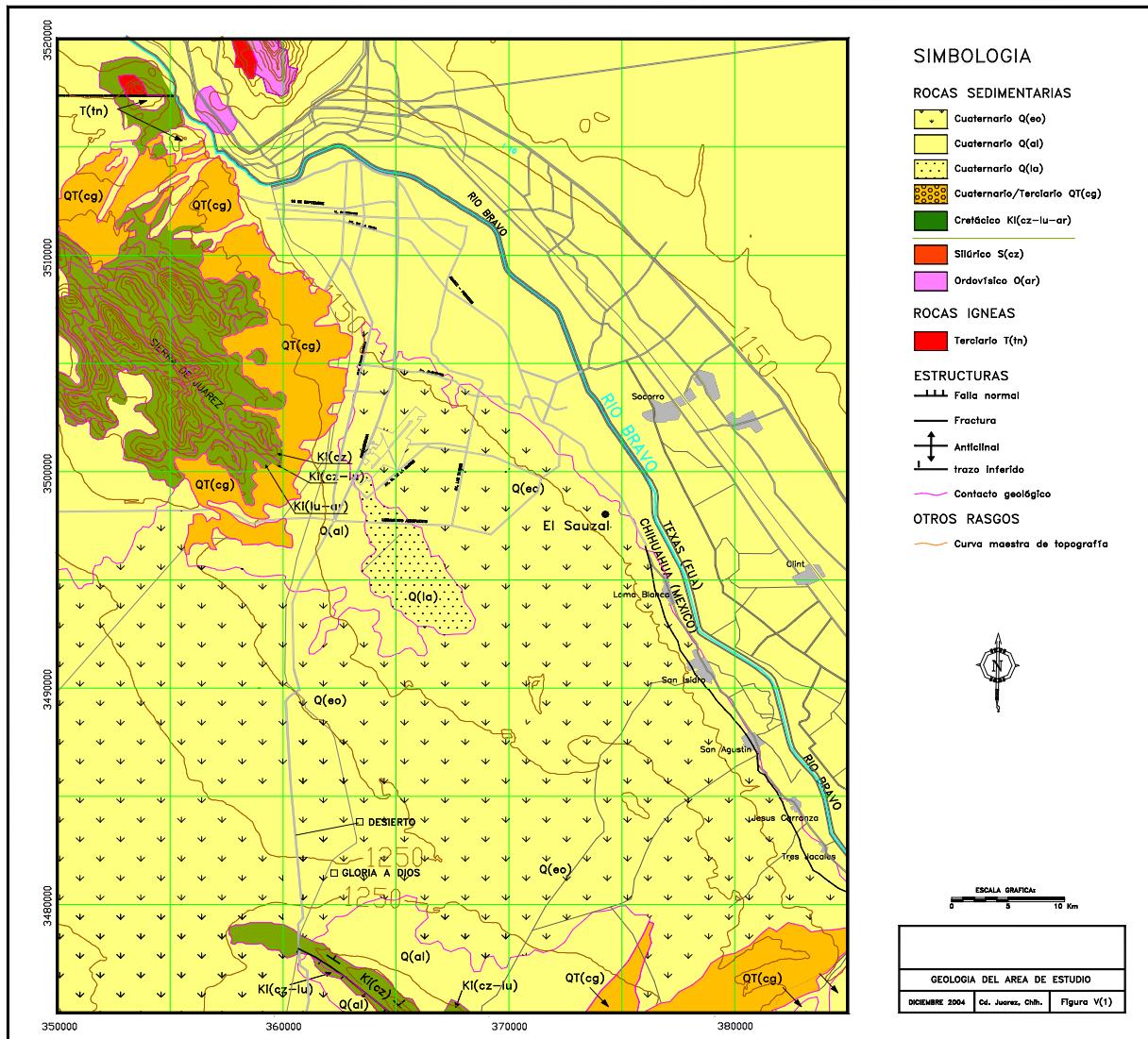


Figura 3. Geología área de estudio

Sedimentos Eólicos

Los depósitos de sedimentos eólicos están constituidos de arenas finas y limos, conformando un sistema de dunas fijas y móviles, generalmente de poco espesor.



"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

Estratigráficamente los sedimentos aluviales y eólicos sobreyacen, a los depósitos de abanico aluvial y a los sedimentos lacustres del Terciario.

VI.1.6.- Suelos y Vegetación

El suelo del área de estudio, presenta una constitución uniforme, principalmente arenas arcillosas y limos, o que le da su característica de suelo impermeable, primordialmente en la zona deprimida de El Barreal. Al Sur-oriente del aeropuerto, se encuentra una unidad de suelo *Vertisol*, caracterizado por grietas anchas y profundas y de consistencia chiclosa en presencia de agua.

La vegetación identificada presenta características desérticas, de matorral espinoso. La flora que conforma al matorral espinoso presenta una fisonomía compuesta de ramificaciones (muy quebradas y alargadas) recubiertas con espinas de tipo xerófilo arbustivo como la Gobernadora (*Larrea tridentata*), el Hojasén (*Flourensia cernua*), el Mezquite (*Prosopis Spp*), la lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y cactáceas. En las zonas sujetas a inundación se observa escasa vegetación, compuesta principalmente por comunidades halófitas con pastos, por ejemplo, *Hilaria berlandieri*, chamizo, *Atriplex Spp.* y por gramíneas con alta tolerancia a la salinidad y típicas de suelos arcillosos. En las áreas ocupadas o con perturbación urbana, se tiene la presencia de vegetación inducida, constituida principalmente por rosales, álamos, olmos lilas y moros. Por el escaso porcentaje ocupado con relación al área de estudio, porcentualmente esta vegetación no es representativa.



VII.ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL

VII.1.-CRITERIOS GENERALES

Los criterios para el control y manejo de los escurrimientos pluviales para ciudad Juárez, donde se incluyó la Zona VIII.- “El Barreal” fueron definidos por el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP), el cual establece los lineamientos generales normativos en la materia y cada uno de los planes parciales define los criterios específicos aplicables a sus propias superficies, constituyendo estos instrumentos de planeación, el marco de actuación aplicable para la autoridad en materia de desarrollo urbano y de observancia obligada para los promotores del desarrollo urbano.

Las condiciones actuales del desarrollo urbano en la zona, han sido ampliamente analizadas y discutidas en los Planes Parciales mencionados, sin embargo, los eventos climatológicos que se presentaron en los últimos años han mostrado que aun cuando la mayoría de los proyectos de las obras propuestas dentro de los fraccionamientos para la captación, conducción y disposición de agua pluvial, tienen las características y capacidad adecuadas, no se realizó el mantenimiento requerido y no se construyeron las obras de retención de agua necesarias para el control total de los escurrimientos pluviales, originando inundaciones en áreas habitacionales ubicadas en las partes más bajas de la cuenca de El Barreal.

Por lo anterior, es necesario establecer nuevos lineamientos técnicos que permitan el control total de los escurrimientos pluviales en la zona y en cualquier otra zona de crecimiento, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Hidrológicamente el área está constituida por cuencas cerradas cuyos parteaguas están definidos por la topografía natural o por vialidades.
- Evitar los riesgos por inundación mediante el control total de los escurrimientos de agua provenientes de la lluvia



"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

- El área de estudio será totalmente urbanizada modificando el tipo de superficie que incrementa significativamente los volúmenes excedentes de la precipitación pluvial.
- Almacenar y aprovechar el agua pluvial captada para riego de áreas verdes, recarga al acuífero o en cualquier otro uso que acepte la calidad del agua pluvial

El planteamiento técnico de solución para el manejo del agua pluvial en el área de estudio puede ser factible, solo si se observan y se siguen las estrategias de manejo y la construcción de la infraestructura pluvial requerida, fundamentando dicho razonamiento, en el análisis de los procesos urbanos desarrollados hasta la fecha y las condiciones actuales que presenta la zona. La propuesta de solución se fundamenta en estudios hidrológicos realizados en donde se incluye el análisis estadístico de la precipitación para varios períodos de retorno, condiciones actuales de uso del suelo, características topográficas de la zona, planeación del crecimiento urbano a largo plazo, características estratigráficas del subsuelo, tenencia de la tierra y cálculo de volúmenes de agua escurrida para superficies con diferentes niveles de urbanización.

Las propuestas de solución que se presenta para la zona de El Barreal permite definir las acciones y criterios técnicos del control y manejo del agua pluvial, los cuales serán observados por quien(es) lleve(n) a cabo cualquier acción urbana previa autorización de la administración municipal quien finalmente será quien supervise y reciba las obras proyectadas. Se deberá promover el desarrollo urbano de acuerdo con los instrumentos de planeación vigentes, tales como el Plan Director, Planes Sectoriales y Planes Parciales, por lo que la normatividad enunciada en cada uno de estos instrumentos, deberá ser observada obligatoriamente.

La característica fundamental de la zona de estudio es su constitución hidrológica como una serie de cuencas cerradas. Estas cuencas están en proceso de urbanización lo cual modifica el tipo de superficie de natural a la mezcla de suelos pavimentados, construcciones, áreas verdes, etc. que en suma incrementan el volumen de agua excedente de la lluvia convirtiéndose en escurrimientos pluviales que se concentran en las áreas de menor elevación topográfica. Debido a lo anterior, el proceso de urbanización debe



contemplar como acción primaria, el control de los escurrimientos y el manejo de los volúmenes de agua pluvial y dada sus características de cuencas cerradas, es necesario planear la forma, dirección y capacidad de las estructuras de conducción así como dimensionar las áreas que recibirán estos flujos, la capacidad de almacenamiento necesaria, las obras para el manejo de materia flotante, azolves, sólidos suspendidos y cualquier otro elemento que ingrese a los sitios de concentración de agua como podrían ser residuos contaminantes o de alto riesgo.

En este proceso de planeación, es necesario también incluir programas formales de una continua operación, mantenimiento y administración de las estructuras, siendo necesario para ello destinar recursos suficientes y por tiempo indefinido para estas actividades.

Las estrategias de solución global conforme a los resultados del presente estudio se subdividen en dos grandes grupos:

- A. **Estrategia a corto plazo:** Conjunto de acciones tendientes a garantizar la resiliencia de la zona actualmente urbanizada del Barreal en la antigua zona lagunar.
- B. **Estrategia a mediano plazo:** Conjunto de acciones enfocadas a incrementar la resiliencia hidrológica de la cuenca el Barreal en la zona de restitución lagunar, la cual actualmente no esta urbanizada.

VII.2. ANALISIS DE LOS HALLAZGOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS

HIDROLOGIA

La zona actualmente urbanizada requiere de una obra hidráulica de mitigación que contenga los escurrimientos que descienden de la cuenca, de forma que los desarrollos urbanos ya existentes regulen solamente los flujos generados por cuenca propia tal y como lo marca el PSMAP. Para ello, desde el 2016 se realizó un estudio de la operación hidráulica del BMMH en las condiciones imperantes en ese entonces. El modelo se realizó conforme a la tormenta de lluvia aprobada por la CONAGUA en la cual se aplica un esquema de



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

ponderación de la lluvia ajustada por área de tormenta, de forma que se garantice que todo el volumen de la precipitación sea transformado de manera 100% efectiva a escurrimiento y perdidas por absorción.

El resultado de este análisis hidrológico (2016) se resume en las siguientes tablas:

TR100

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	325.8	4505.1

TR500

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	479	6376.4

Posteriormente, ya en este estudio (2017) se realizaron corridas hidrológicas con una tormenta de diseño aplicada bajo un esquema de distribución de frecuencia. La discretización de este modelo hidrológico consiste en 3 subcuencas principales localizadas aguas arriba del bordo Miguel de la Madrid Hurtado:

Cuenca Poniente: Esta subcuenca (Figura VII.2.1. en color blanco) capta los escurrimientos de la zona de granjas de Sta Elena, y en ella se localizan los diques Sta. Elena I, Sta. Elena II, Fluorex, Charly I, Charly II y Yonkes.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

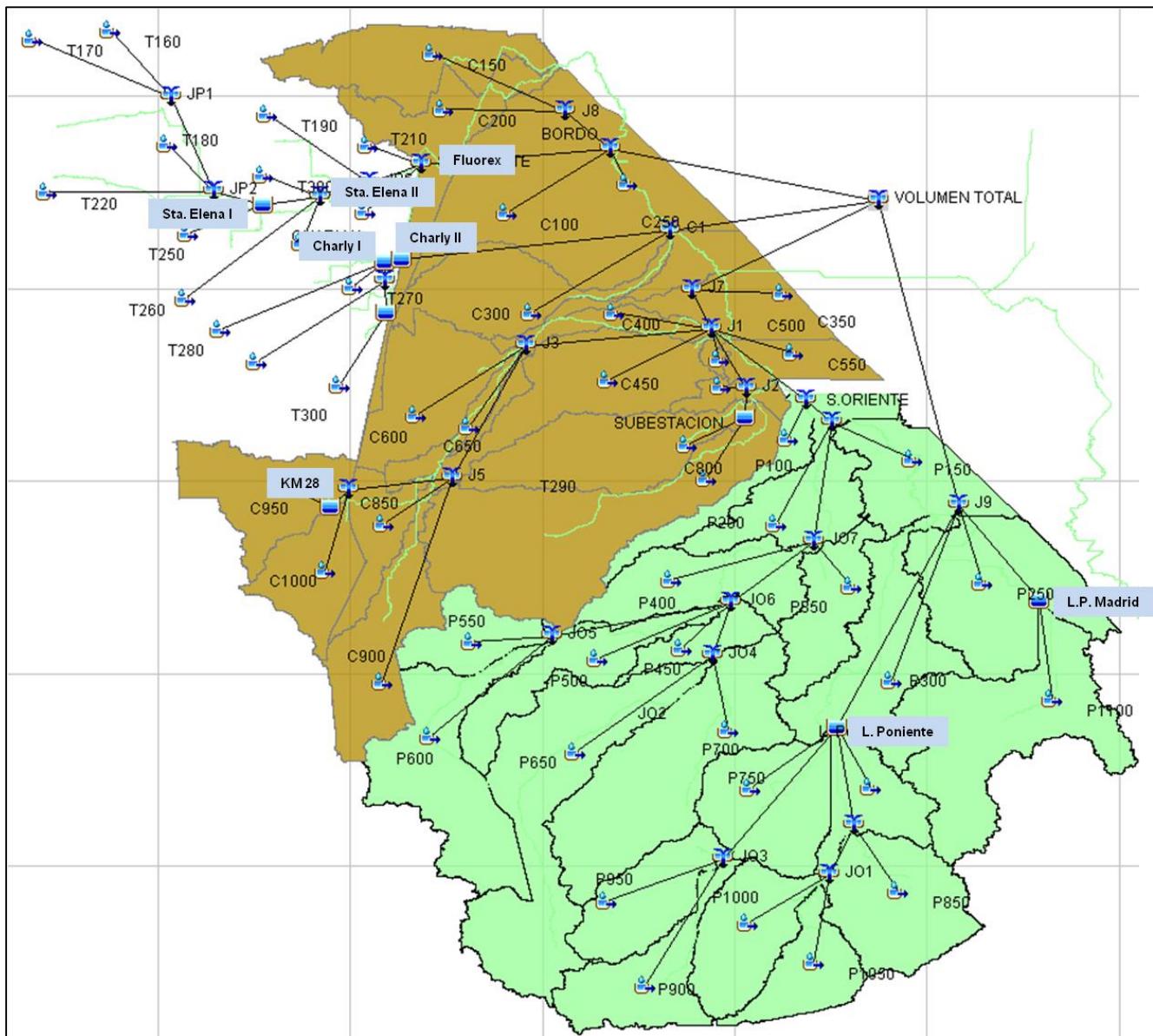


Figura VII.2.1. Localización de las obras hidráulicas de la zona poniente al Bordo MMH.

Cuenca Centro: Esta subcuenca (Figura VII.2.1. en color café) capta escurrimientos de la parte central de la cuenca el Barreal. En esta subcuenca se localiza el dique Km 28 y el dique Subestación o Herradura.

Cuenca Surponiente: Esta subcuenca capta un importante volumen de escurrimientos provenientes de la parte suroeste de la cuenca El Barreal. En esta subcuenca se localizan varias lagunas subsidiarias o secundarias que actúan como reservorios en caso de lluvia. Las mas importantes se modelaron hidrológicamente como vasos de captación: Laguna Poniente y Laguna P. Madrid.

La curvas de almacenamiento descarga de las diferentes estructuras hidráulicas de las subcuencas mencionadas (Figuras VII.2.2 a la VII.2.9) muestra que para eventos hidrometeorológicos asociados con una tormenta con un periodo de retorno de 500 años, solo las lagunas subsidiarias son capaces de contener los volúmenes transportados aguas abajo.

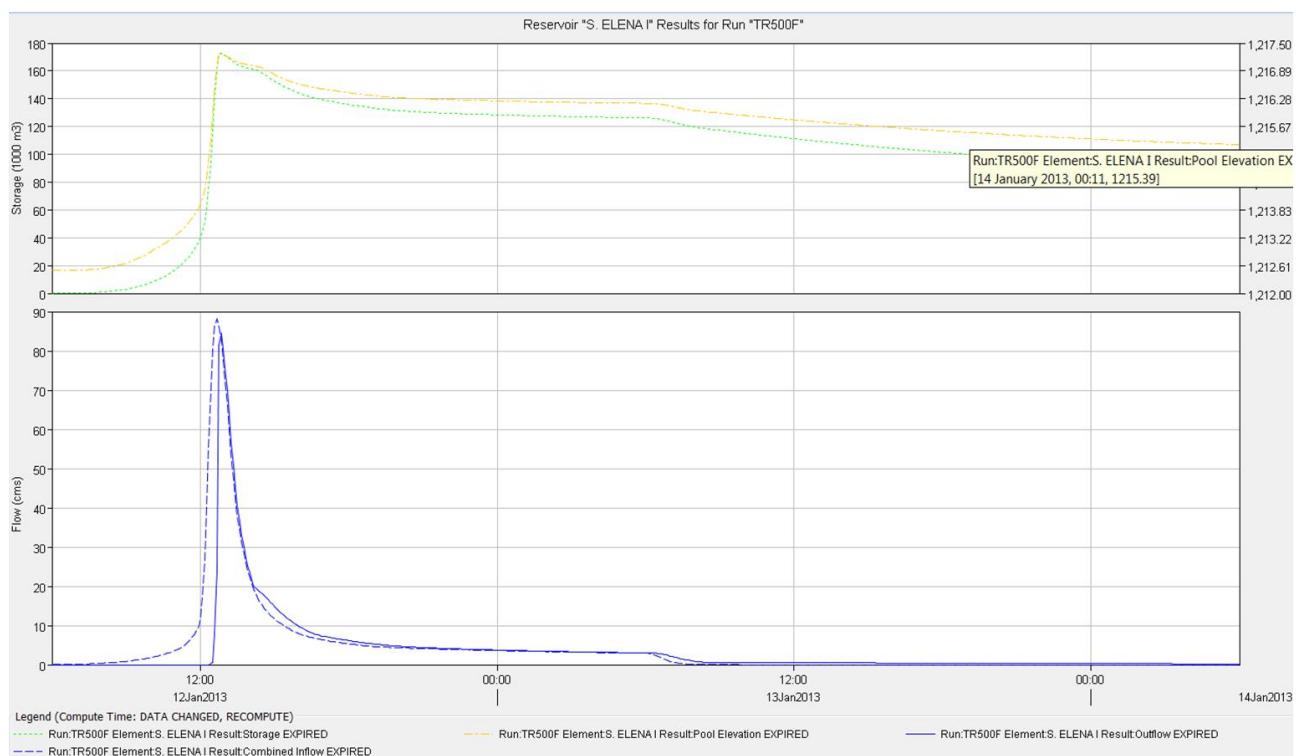


Figura VII.2.2. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Santa Elena I.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

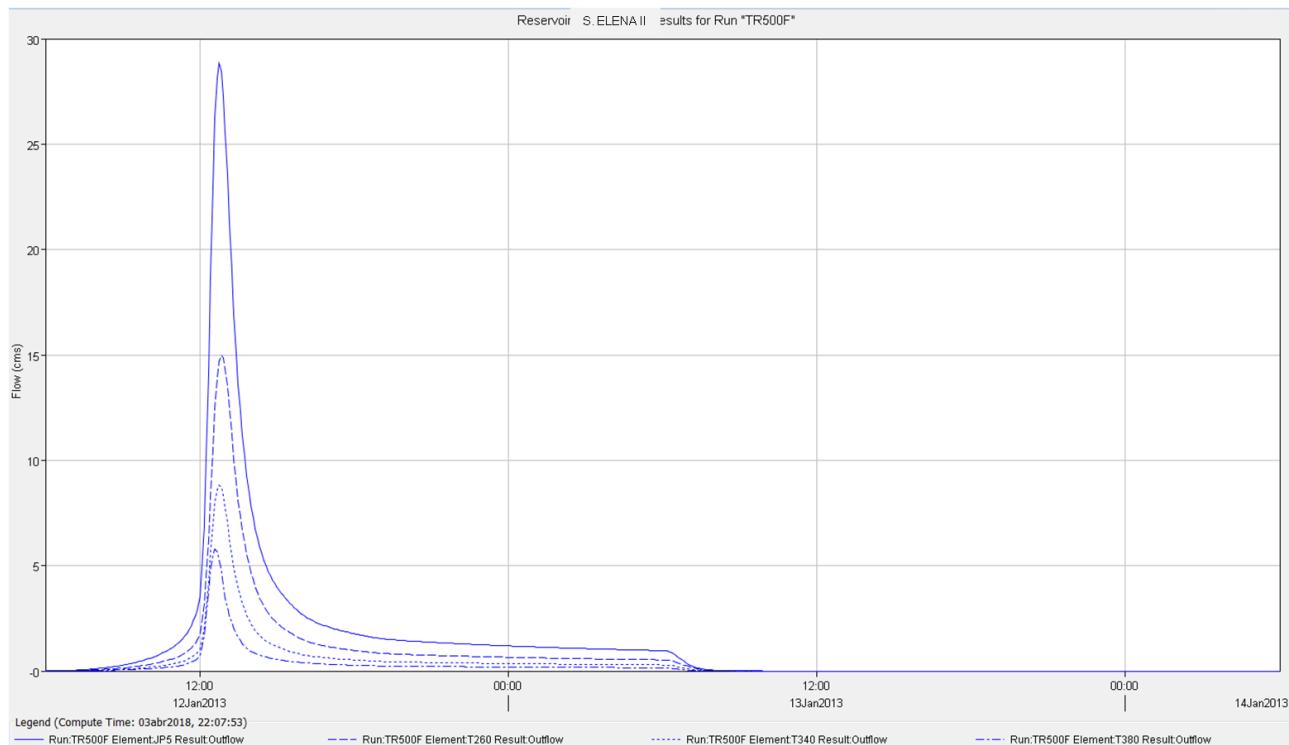


Figura VII.2.3. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Santa Elena II.

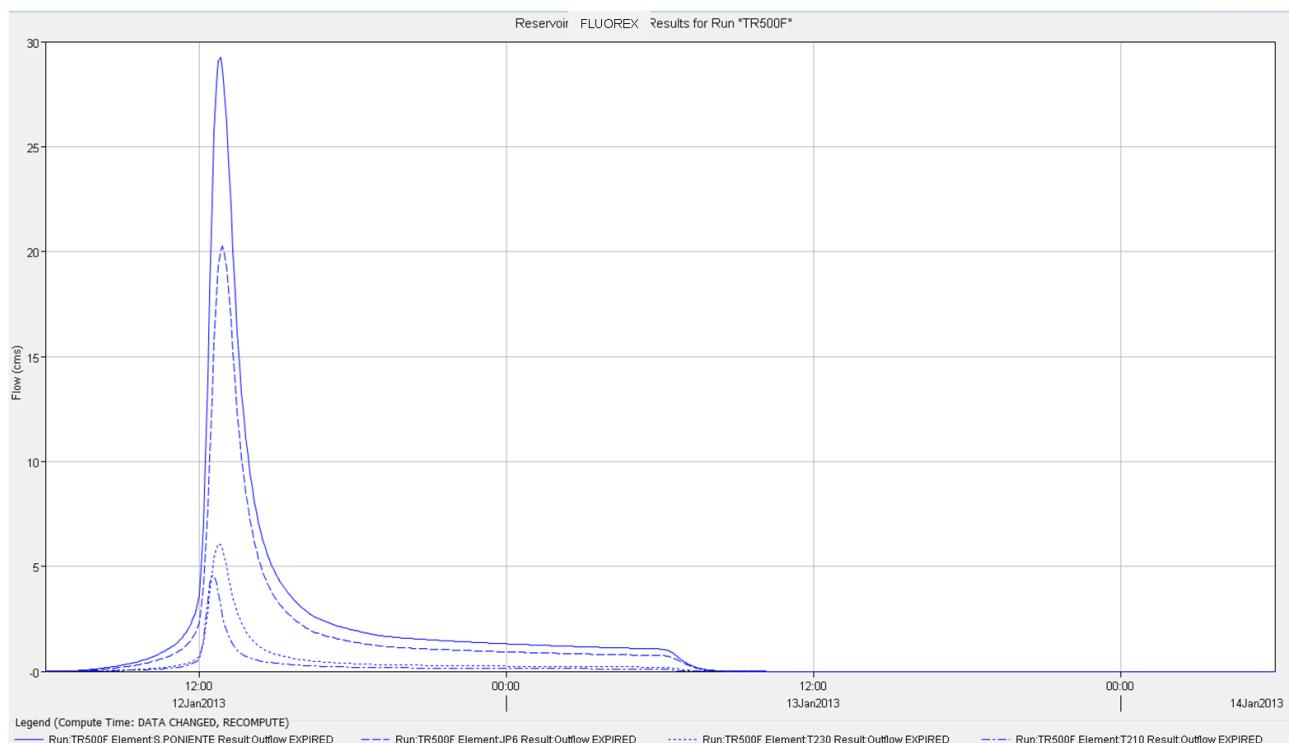


Figura VII.2.4. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Fluorex.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

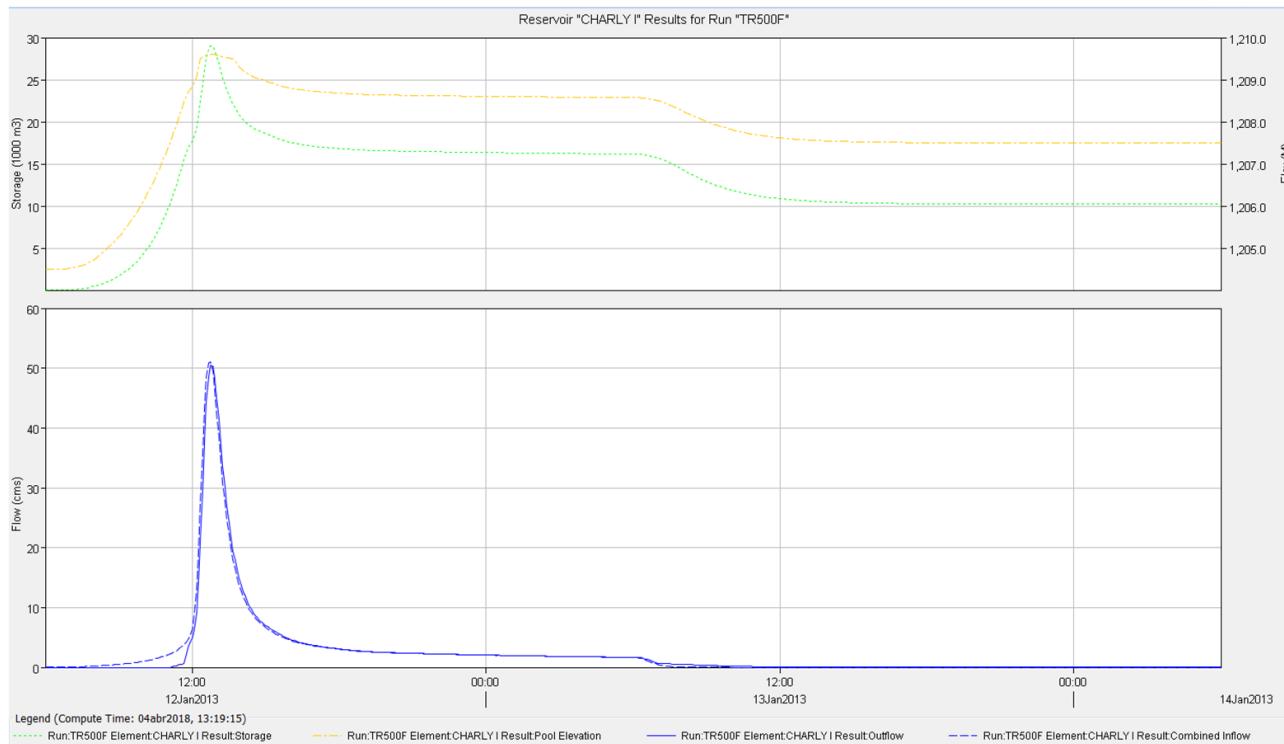


Figura VII.2.5. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Charly I.

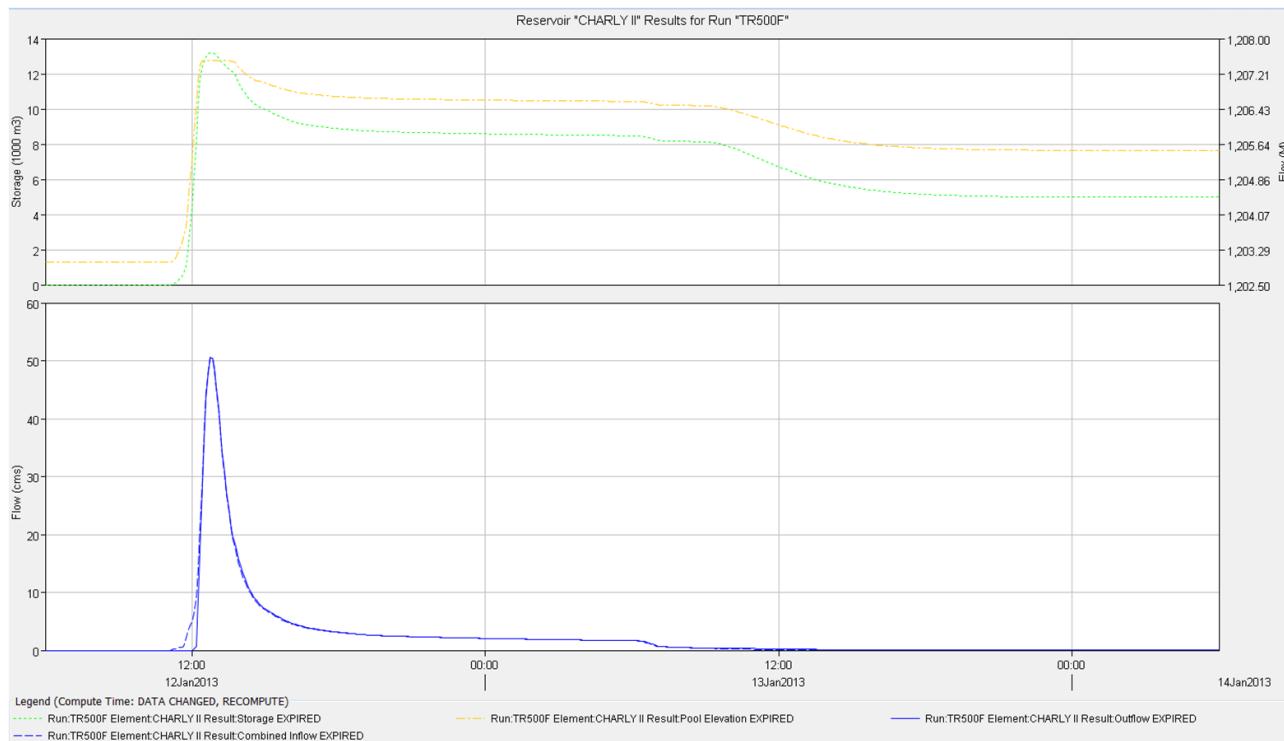


Figura VII.2.6. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Charly II.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

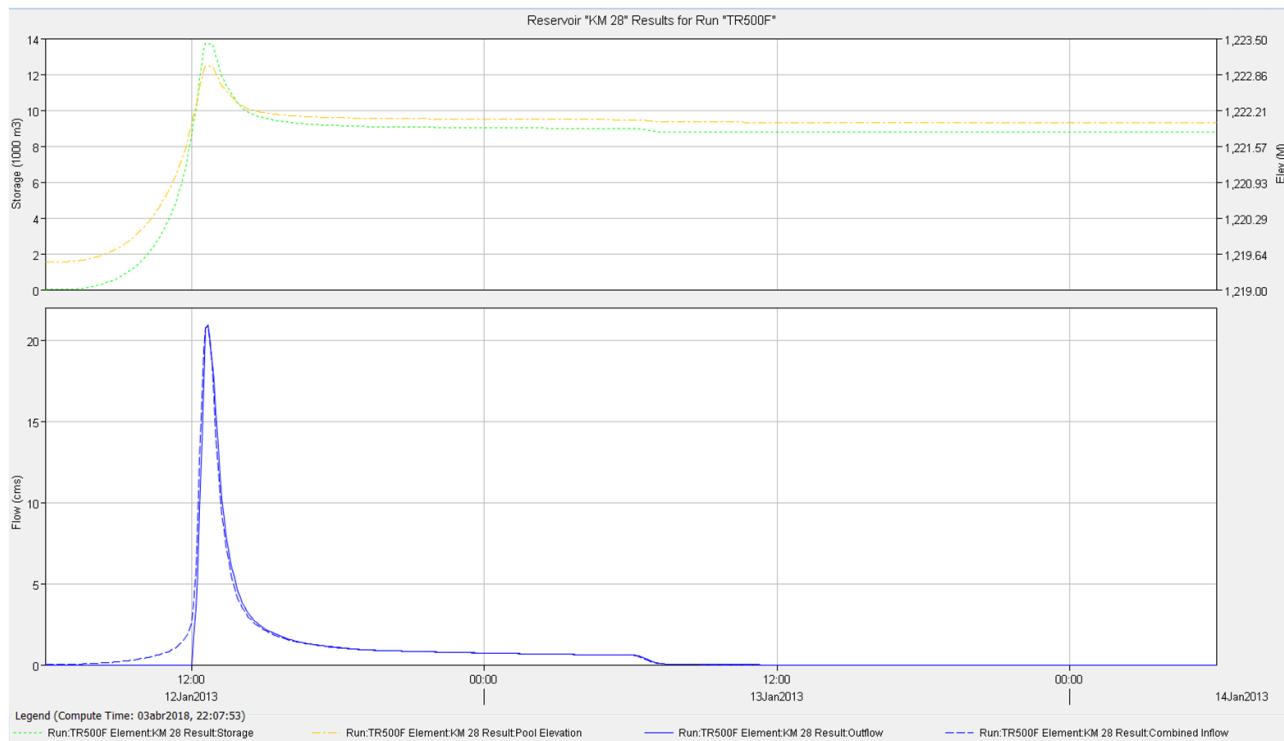


Figura VII.2.7. Volumen de agua almacenada en vasos de captación KM 28.

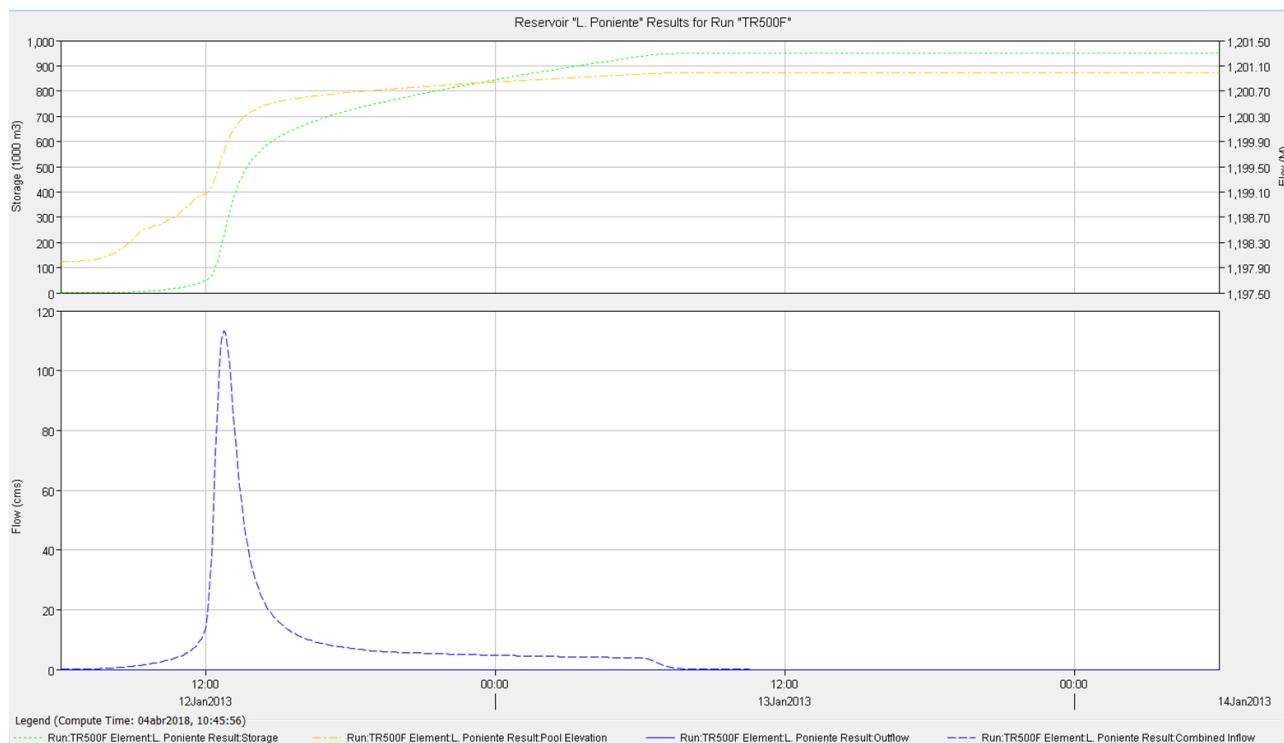


Figura VII.2.8. Volumen de agua almacenada en zona lagunar L. Poniente.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

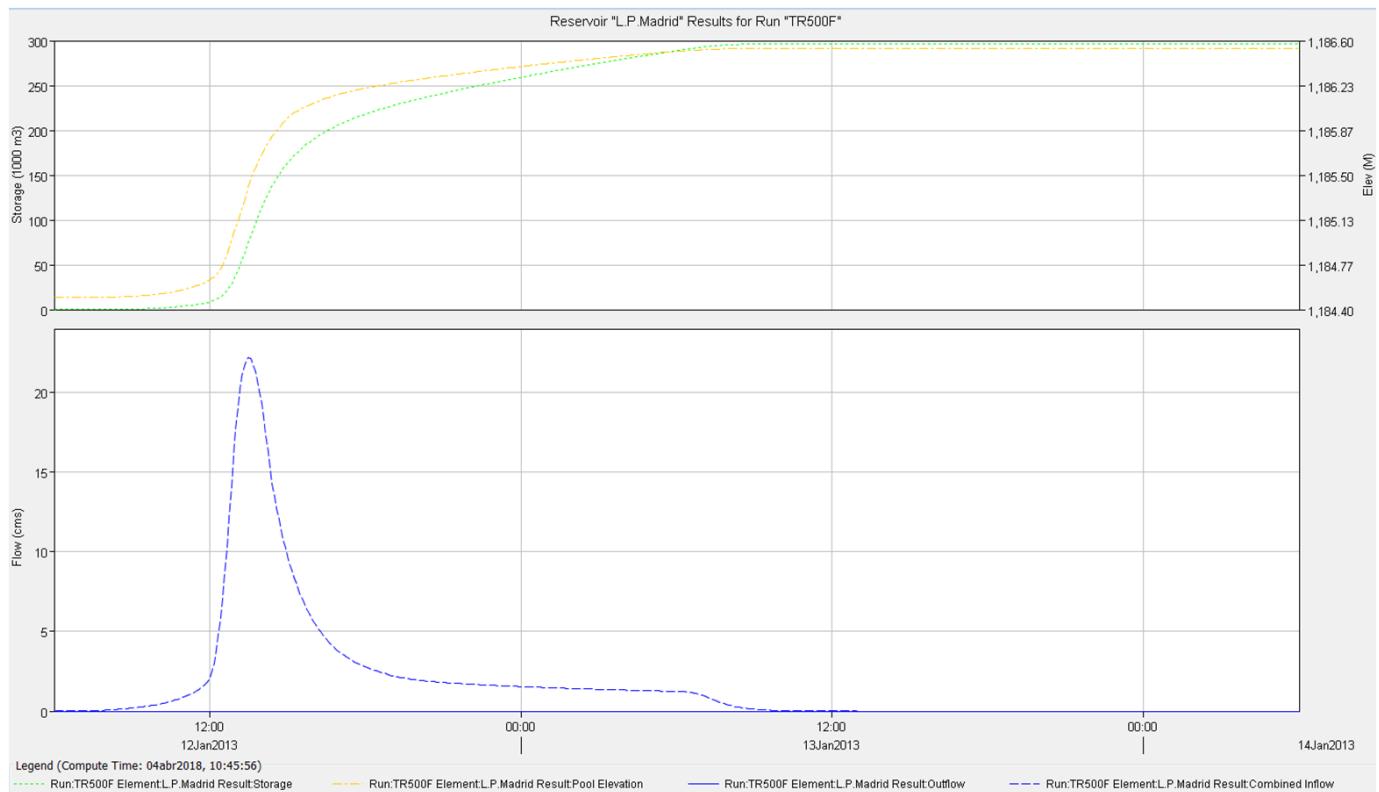


Figura VII.2.9. Volumen de agua almacenada en zona lagunar L. P. Madrid.



VII.2.1. OPERACIÓN HIDRAULICA DE DIQUES Y LAGUNAS SUBSIDIARIAS

La condición de almacenaje descarga para cada vaso o dique se resume en la siguiente tabla donde V.E. es Volumen Escurrido y V.D. es volumen de Descarga (Tabla 4).

Tabla 4. Volúmenes escurridos y de descarga.

ESTRUCTURA	TR5		TR10		TR20		TR50		TR100		TR500	
	V.E	V.D	V.E	V.D	V.E	V.R	V.E	V.D	V.E	V.D	V.E	V.D
STA ELENA I	183.4	94.7	249.8	161.0	319.9	230.9	420.9	331.7	505.5	416.3	721.1	631.8
STA ELENA II	155.2	155.2	243.5	243.5	336.5	336.5	470.6	470.6	583.1	583.1	869.7	869.7
FLUOREX	221.6	221.6	333.9	333.9	452.3	452.3	623.0	623.0	766.1	766.1	1130.8	1130.8
CHARLY 1	103.9	93.6	141.6	131.3	181.3	171.0	238.5	228.2	286.4	276.2	408.6	398.4
CHARLY 2	93.6	88.7	131.3	126.3	171.0	166.0	228.2	223.2	276.2	271.2	398.4	393.4
KM28	36.9	28.2	50.3	41.6	64.4	55.7	84.8	76.0	101.8	93.1	145.3	136.5
L. PONIENTE	241.5	0	329.0	0	421.2	0	554.2	0	665.6	0	949.6	0
L.P. MADRID	75.4	0	102.8	0	131.6	0	173.1	0	207.9	0	296.6	0

En tanto que la operación hidráulica, evaluada en términos de la capacidad de regulación, se muestra en la siguiente tabla, donde en rojo se agrupan los vasos o diques con poca o nula capacidad de regulación (rojo). Capacidad media de regulación (amarillo) y regulación satisfactoria (verde).



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

Tabla 5. Porcentaje regulado.

ESTRUCTURA	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500
	% regulado					
STA ELENA I	48.36	35.55	27.82	21.19	17.65	12.38
STA ELENA II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FLUOREX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CHARLY 1	9.91	7.27	5.68	4.32	3.56	2.50
CHARLY 2	5.24	3.81	2.92	2.19	1.81	1.26
KM28	23.58	17.30	13.51	10.38	8.55	6.06
L. PONIENTE	100	100	100	100	100	100
L.P. MADRID	100	100	100	100	100	100

En cuanto a los gastos pico y volúmenes escurridos en la zona de restitución lagunar, localizadas aguas arriba del bordo Miguel de la Madrid, se muestra el resumen de los periodos de retorno críticos para la operación de esta estructura de contención.

El detalle de la operación para tormentas con periodo de retorno de 100 y 500 años se resume en las siguientes tablas:

TR100

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	351.2	4372.8

TR500

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	534.1	6321.3



VII.2.2. CONCLUSIONES HIDROLOGIA

1. El volumen total al Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (BMMH) es de 6,376.4 ($\times 1000$) m³ (Millones de m³) para un Periodo de Retorno (TR) de 500 años, operando los diques existentes en condiciones actuales utilizando la tormenta de diseño de la CONAGUA.
2. El volumen total al Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (BMMH) es de 6,321.3 ($\times 1000$) m³ (Millones de m³) para un Periodo de Retorno (TR) de 500 años, operando los diques existentes en condiciones actuales utilizando la tormenta de diseño de la solicitada por CENAPRED.
3. Aunque los volúmenes son muy similares, existe una pequeña diferencia en los volúmenes escurridos. Es decir, los gastos calculados en base a la tormenta validada por CENAPRED son ligeramente menores. Sin embargo, esta tormenta de diseño dispone de un tamaño de muestra mayor, ya que contempla registros de lluvia hasta el año 2017. Además, la tormenta actualizada al 2017, y validada por CENAPRED, refleja el hecho de que la distribución de lluvia para la zona geográfica de la Cuenca El Barreal, está sesgada hacia la izquierda, concentrando la mayor cantidad de lluvia en la primera hora de la tormenta. Efecto que fue considerado como tal en la respuesta hidráulica
4. La operación hidráulica de los diques y vasos muestra que solo las lagunas subsidiarias operan satisfactoriamente como reservorios. Los demás diques y vasos son incluso rebasados, hidráulicamente hablando, incluso para períodos de retorno de 5 años.

VII.3. HIDRAULICA

El análisis de las condiciones hidráulicas tanto de las obras existentes de mitigación (Bordo MMH) como de los vasos o diques existentes se realizó en función de los resultados de la corrida hidráulica a 500 años, dado que esta cota define el borde libre del bordo MMH. El



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

resultado de esta corrida hidráulica (Figuras VII.3.1 y VII.3.2) muestra que el agua fluye principalmente como resultado de la aportación de los escurrimientos de la cuenca poniente y surponiente. En el caso de la cuenca surponiente, el flujo impacta el bordo en los cadenamientos: 1) 717 m y 930 m, 2) 1,120 m y 1,800 m (Figura VII.3.3), y 3) 2,000 m y 2,425 m, medidos a partir de la intersección con el Blvd. Manuel Talamas Camandarí y el Bordo MMH. Aunque esta zona actualmente presenta una protección del talud aguas arriba, constituida por enrocamiento para contener los efectos de turbulencia y erosión, tanto la geofísica como la geotecnia muestran un estrato de desplante conformado por materiales de grano grueso, considerados permeables. Es decir, en este punto, de mayor concentración de flujo, no existe estrato impermeable ni dentellón de arcilla para evitar efectos de subdrenaje, lo que constituye una zona de debilidad en esta importante obra. Posteriormente, el flujo de agua se conduce de forma lateral y paralela al talud aguas arriba del Bordo MMH en dirección sur oriente hasta alcanzar el depocentro principal de la antigua zona lagunar, es decir, el punto más bajo. En el trayecto, las velocidades alcanzadas (Figura VII.3.2) son mayores de 2.0 m/s lo que representa un flujo erosivo para el talud aguas arriba entre el cadenamiento de 1,200 m a 1,800 m. El resto de la estructura opera con velocidades comprendidas entre 0.5 y 1.0 m/s. Aunque el análisis por sí solo de la velocidad indica que aun y cuando los taludes estén conformados por suelo arenoso-arcilloso, se opera con velocidades favorables, el mapa de peligro (Figura VII.3.4) nos muestra que en términos del momentum o cantidad de movimiento (tirante x velocidad) prácticamente todo el Bordo registra rangos Altos y Muy Altos de peligrosidad. En el extremo suroriental del bordo actual, a partir de la intersección con el Boulevard Independencia se observa que parte del flujo se empieza a derivar en dirección suroriental sumándose al importante flujo proveniente de la subcuenca surponiente. El volumen combinado de estos dos escurrimientos, rebosa por encima de la vialidad MMH a partir de lluvias asociadas con TR mayores a 25 años. En esta zona ya no existe el Bordo MMH. La carencia de esta estructura de protección o mitigación, ocasiona entonces que, importantes volúmenes provenientes del surponiente y norponiente sean sumados a los escurrimientos por cuenca propia de los desarrollos ubicados en esta zona, resultando en consecuencia, en la presencia de importantes zonas de inundación.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

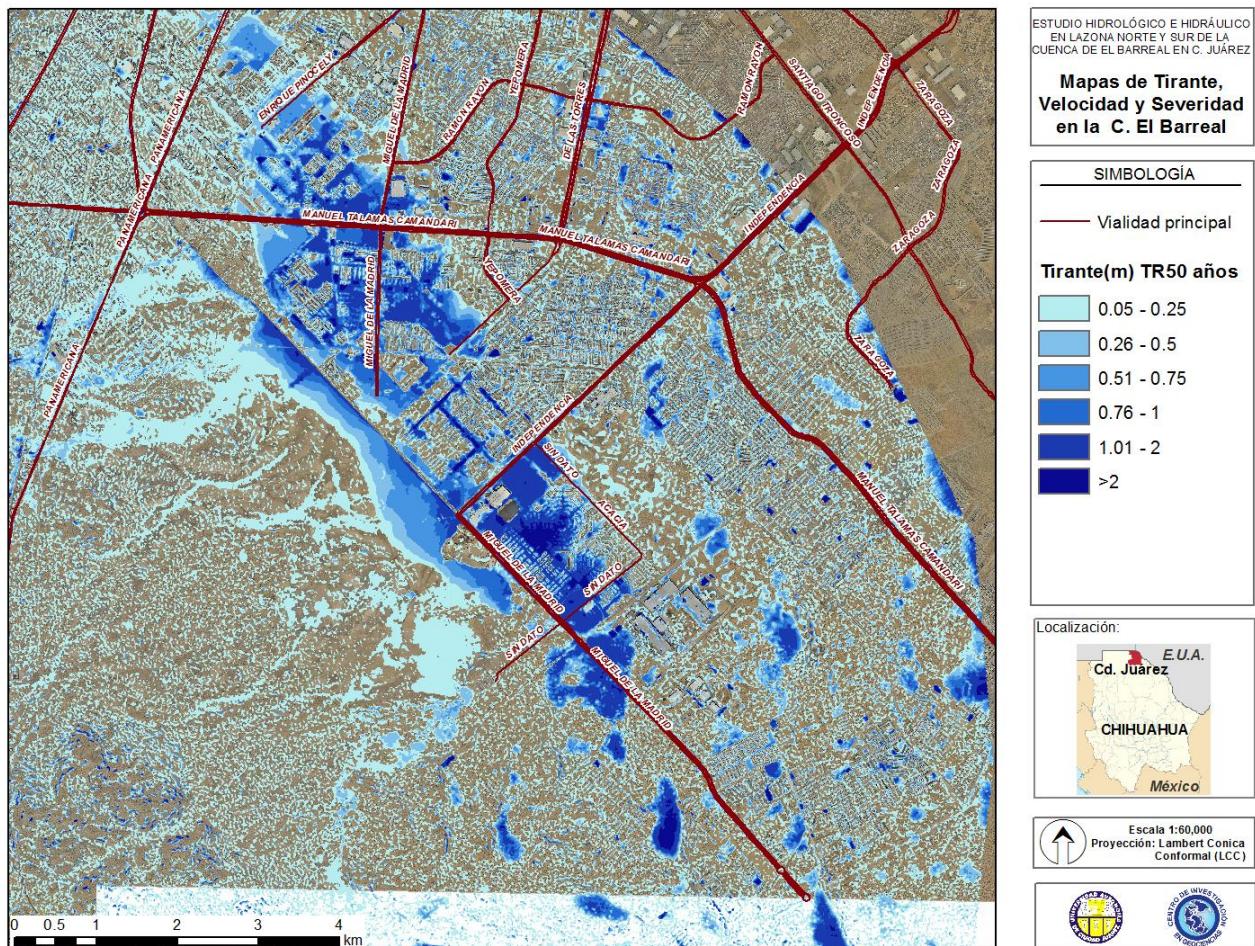


Figura VII.3.1. Mapa de Tirante Máximo a un TR 500 años.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

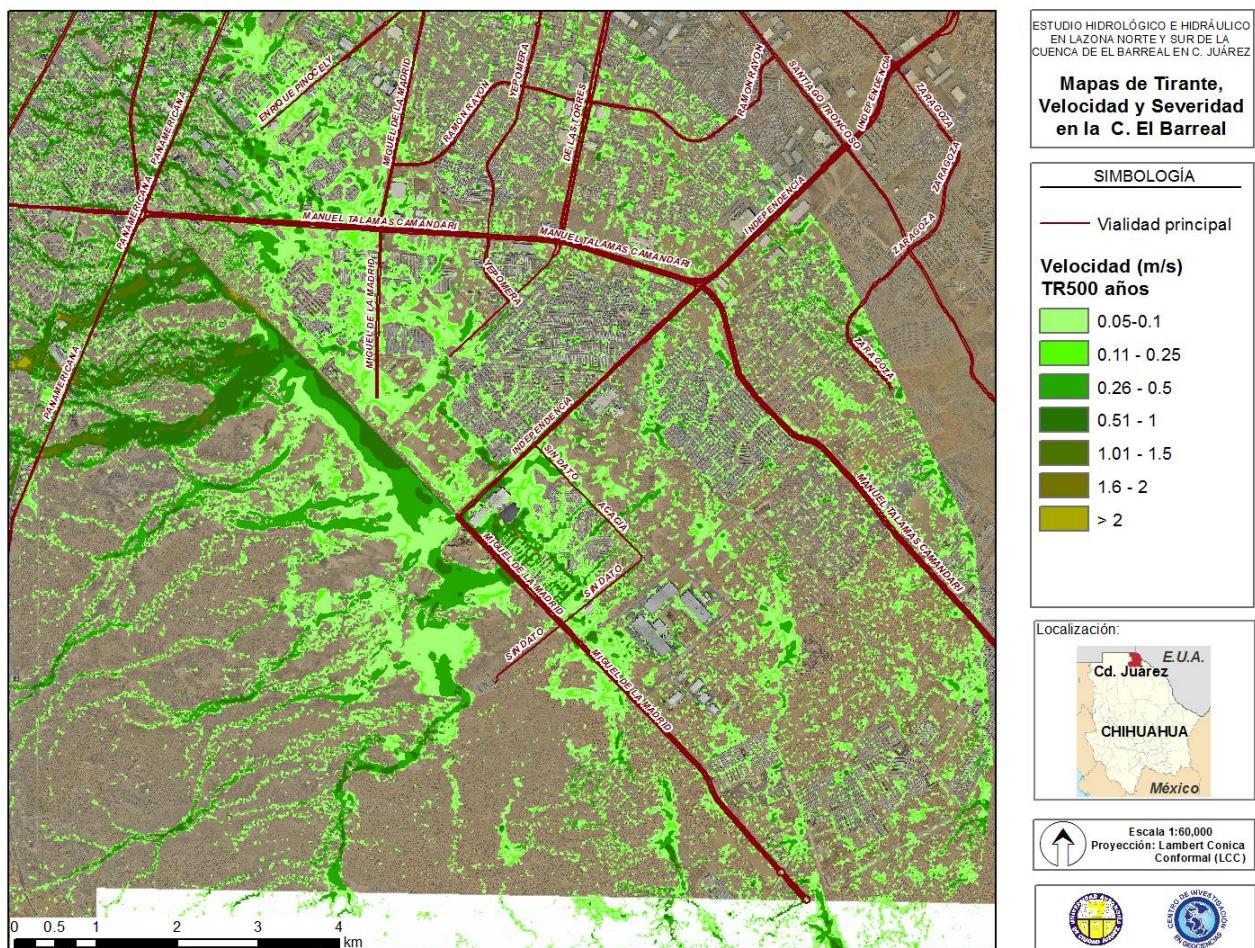


Figura VII.3.2. Mapa de Velocidad Máxima a un TR 500 años.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

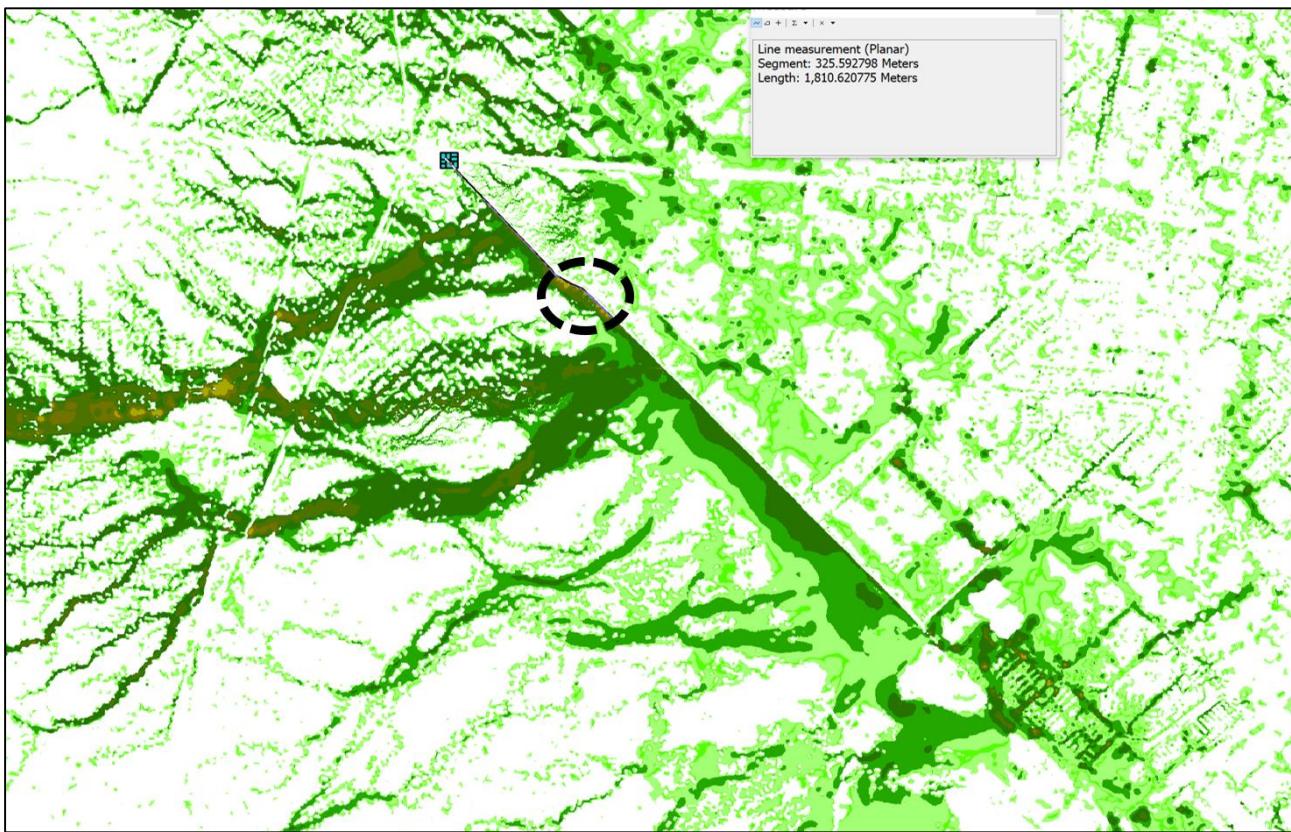


Figura VII.3.3. Velocidad Máxima a un TR 500 años en cadenamiento de 1,800 m donde se presenta mayor velocidad de flujo.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

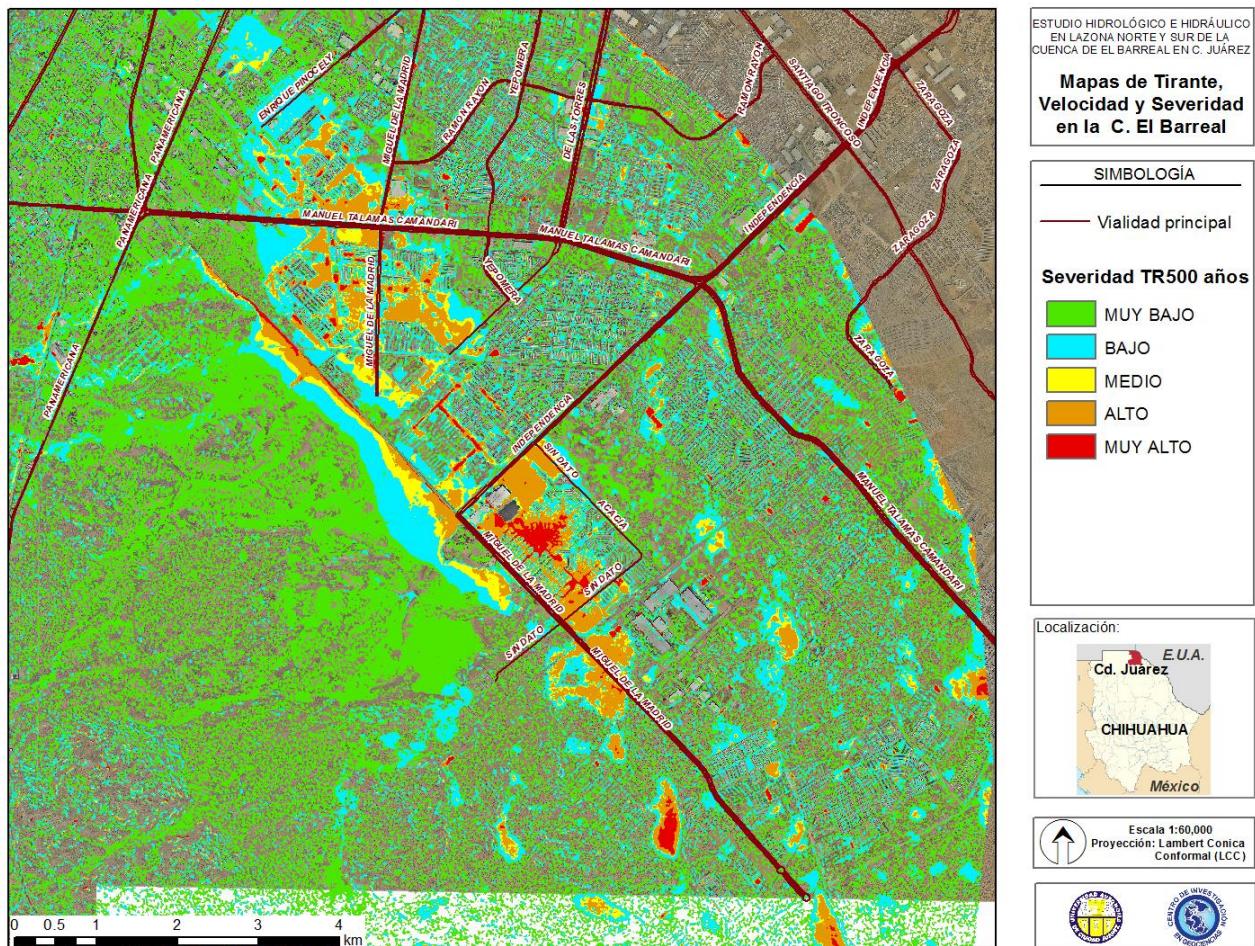


Figura VII.3.4. Modelo de Severidad del TR 500 años.

Una vez que se ha establecido que el Bordo MMH solo constituye una mediad de mitigación para la zona de la subcuenca de Triángulo formado por el Blvd. Manuel Talamas Camandarí, la vialidad Miguel de la Madrid y el Blvd. Independencia, se procedió a llevar a cabo una simulación hidráulica a un TR 500 años prolongando el bordo una distancia de casi 3.5 Km hasta cortar la cota de 1,187 m.s.n.m (Figura VII.3.5). El resultado del modelo (Figura VII.3.6) muestra que efectivamente, el bordo sería capaz de contener los volúmenes escurridos en la cuenca surponiente sin que el agua de las cuencas norponiente y sur poniente se incorporen a la zona urbanizada por la parte suroriental de la antigua zona lagunar.

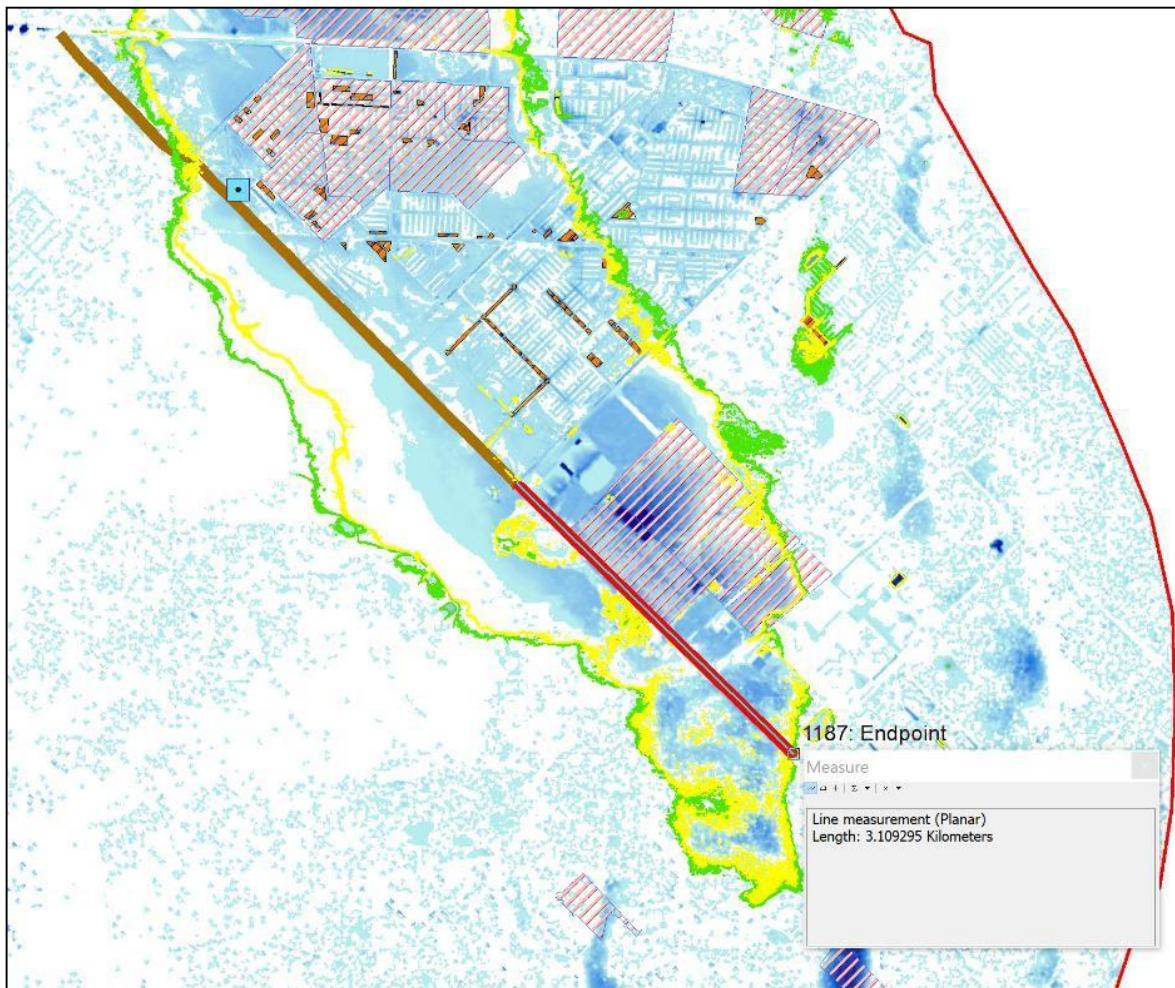


Figura VII.3.5.Propuesta de prolongación del Bordo MMH.

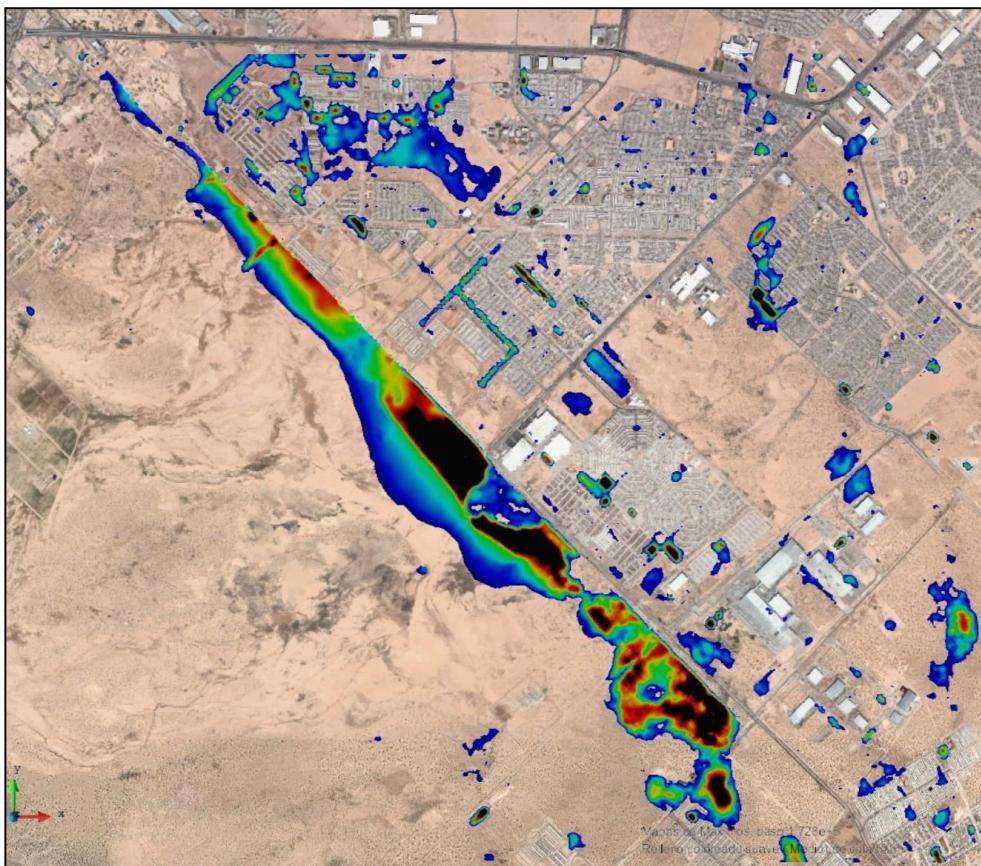


Figura VII.3.6. Simulación hidráulica a TR 500 con bordo MMH extendido.

VIII. GEOTECNIA DEL BORDO MMH Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

En base a la integración de toda la información geofísica y geotécnica y los escenarios de falla resultantes se concluye que el bordo presenta varias zonas con escenario posible de riesgo de falla estructural al estar sometido al tirante hidráulico asociado con la tormenta de 500 años de periodo de retorno:

I. Zona de corte: Esta zona, localizada a los extremos Noroeste del Bordo en la localización de las TER's 1 y 2 (cadenamiento 0+470 m a 0+600 m), se observa que el cuerpo del bordo fue alterado mecánicamente. El radargrama de esta zona es muy evidente a este respecto (Figura VIII.1).

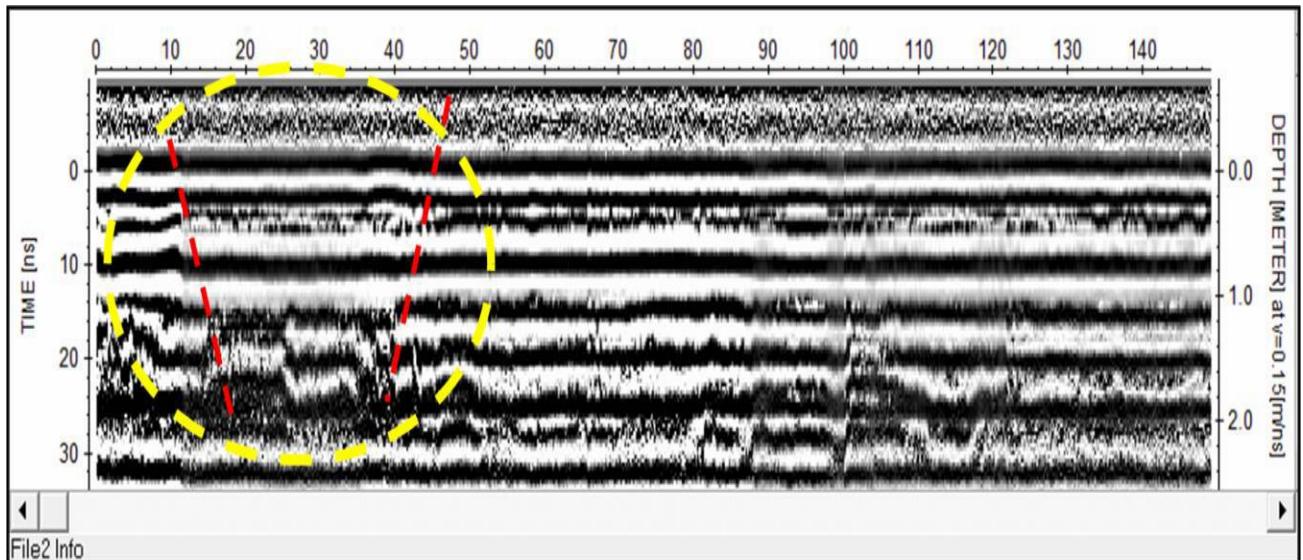


Figura VIII.1. Radargrama de la zona del corte al noroeste del BMMH.



II. Zonas Noroeste (A), localizada entre las TER's 39 y 43 (cadenamientos 0+974 m 1+531 m). En esta zona se observa el mayor cambio de pendiente de la corona del bordo, y es aquí donde los flujos de la corrida hidráulica muestran muy alta velocidad lateral en su trayectoria hacia el centroide de la nueva zona de restitución lagunar definida por la presencia del Bordo MMH. En esta zona las TER's revelan espesores de materiales arenoso-limosos de más 1 m de espesor. Además de que el estrato de desplante no se localiza sobre suelos impermeables, ni se revela la presencia de un dentellón de arcilla que genere un subdrenaje que no comprometa la estructura).

III. Zona central (B), localizada entre las TER's 23 a la 27 (cadenamiento 2+700 m a 3+140 m). En esta zona, la geofísica y geotecnia revelan perdida de continuidad lateral evidenciada por el acuñamiento del cuerpo de arcillas. Esta zona está en espesores de 1 m de litologías de arena limosa. Es decir, en el límite del umbral de seguridad. Es importante aclarar que los resultados de la prueba Triaxial en este punto muestran valores de cohesión muy elevados que resultan en umbrales más elevados del factor de seguridad de la función de falla. La permeabilidad registro un valor de

IV. Zona de la TER 09 (Cadenamiento 4+517 m) donde se observa la presencia de una estructura vertical de materiales arenosos irrumpiendo la continuidad del paquete de arcillas. La prueba Triaxial para este sondeo registró parámetros altos con valores de seguridad por encima del umbral de 1.5.

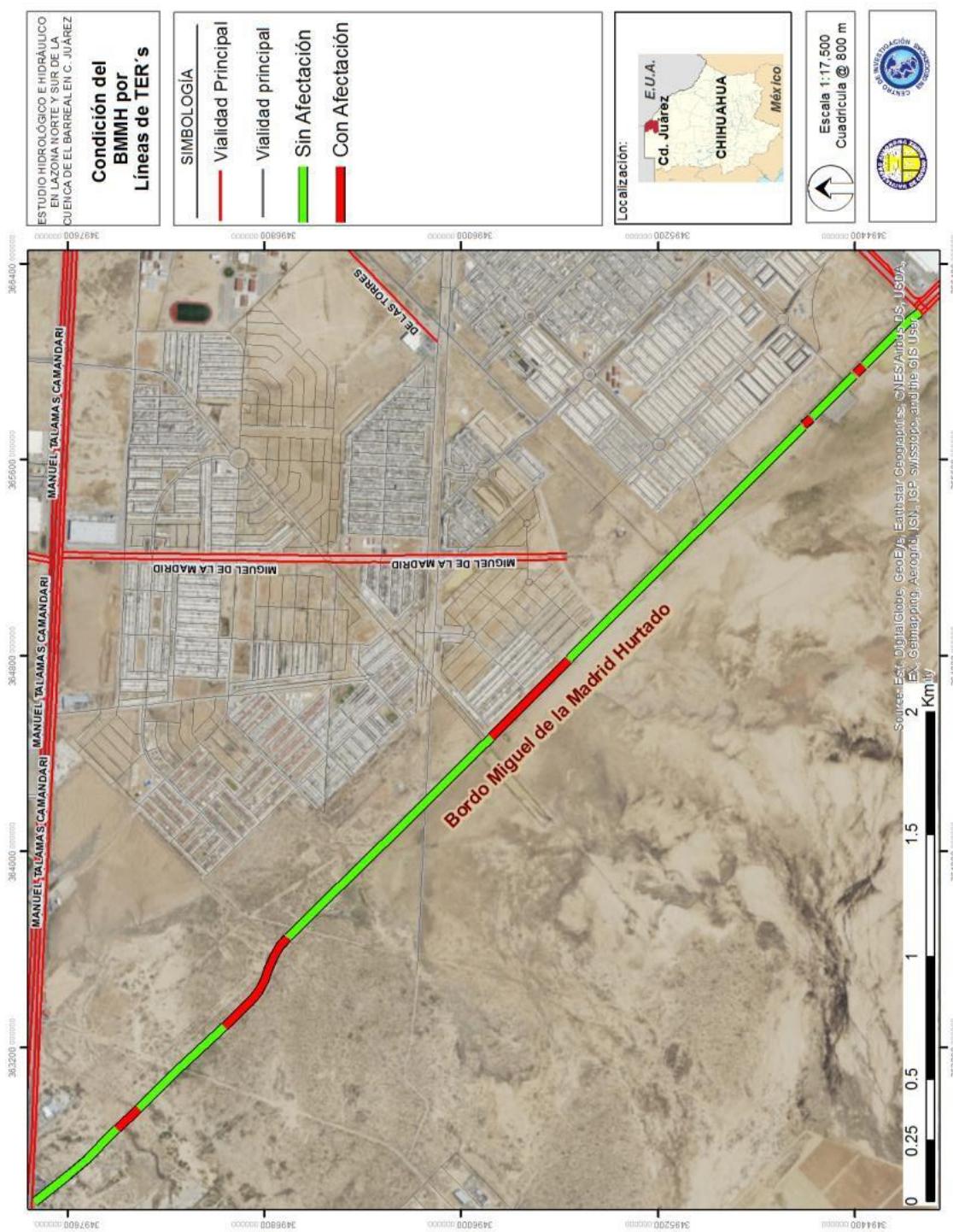
V. Zona de la TER 06 (cadenamiento 4+820), con notable pérdida de continuidad lateral del cuerpo de arcillas como consecuencia de la presencia de arenas limosas.

VI. La localización de las zonas con condición precaria de integridad estructural se muestran en la Figura VIII.2.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"





“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

Figura VIII.2. Zonas con condición precaria de estabilidad estructural.

VIII.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

- I. El **cuerpo de la cortina** del lugar, está conformado por **suelos de préstamo**, (material de un costado el cual fue excavado y re compactado), el cual se considera de acuerdo a la granulometría un material compuesto por arcillas y arenas limosas.
- II. De acuerdo a la mecánica de suelos se considera que el bordo tiene una compactación aceptable de acuerdo al número de golpes.
- III. El análisis de estabilidad de talud muestra que el bordo es estable conforme a los parámetros registrados por la geotecnia en los estratos que lo conforman. Sin embargo, estos sondeos son puntuales, por lo que es necesario el contemplar acciones correctivas o de mantenimiento en las zonas identificadas como afectadas.
- IV. Es necesario que en la parte de la corona, sea retrabaje el material y se compacte y se considere una capa de 20 centímetros de material de base compactado al 95%, con la finalidad de evitar filtraciones a las capas inferior y sirva como un superficie de rodamiento que eviten deformaciones por el paso de vehículos con la conjugación de la humedad creada por los eventos de lluvia. Es decir, se requiere el diseño de un pavimento o bien, cancelar la circulación de vehículos.

A. ESTRATEGIA A CORTO PLAZO

En este apartado, Estrategia a corto plazo, se refiere a las obras que se requiere para dar una solución global a las zonas actualmente afectadas como consecuencias de los volúmenes escurridos. Este grupo de estrategias se enfoca concretamente a la solución de las subcuencas norte, triángulo y sur actualmente urbanizadas.

Del análisis de los hallazgos hidrológicos y la capacidad de infiltración del subsuelo se concluye que las acciones que comprende la estrategia global a corto plazo son:

1.- Reforzamiento del bordo MMH existente en las zonas especificadas para proteger la zona de la subcuenca triangulo. Conforme al manual de Presas de Tierra Compactada de la SAGARPA, un bordo deberá presentar los siguientes elementos estructurales (Figura VIII.1.1):

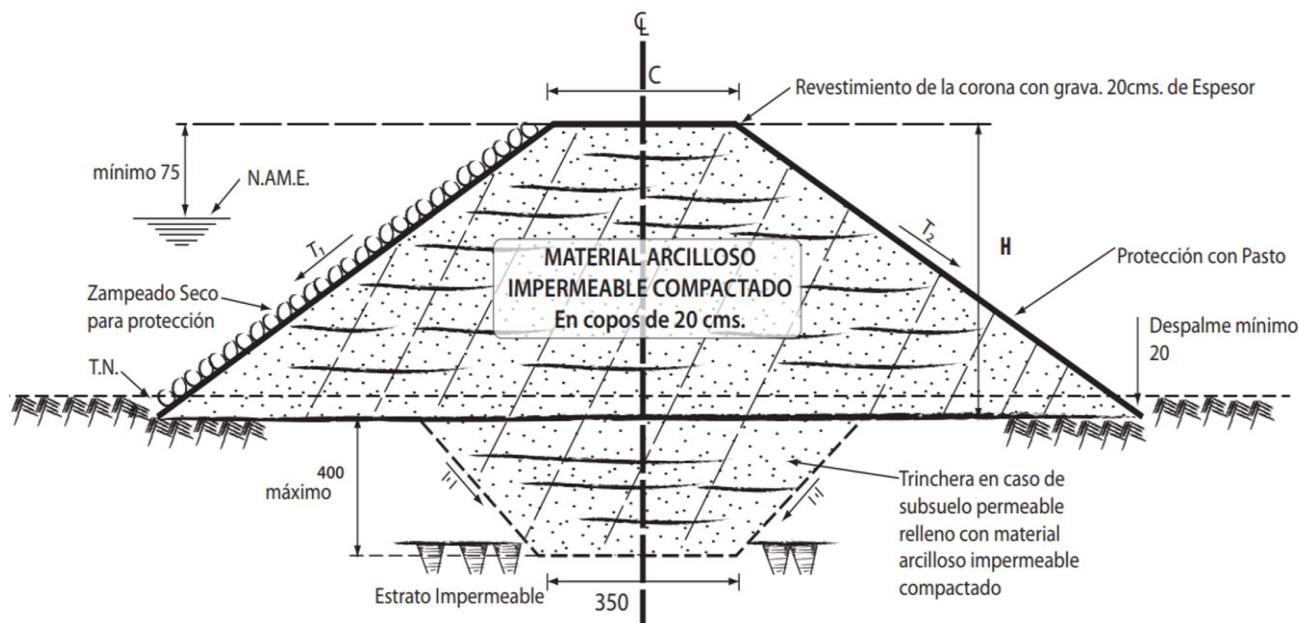


Figura VIII.1.1. Propuesta de sección tipo del BMMH.

I.Bordo libre a 75 cm del NAME.

- En este caso, conforme a indicaciones de CENAPRED el NAME se definió a la cota de TR 100 y el Bordo Libre al tirante de la corrida bidimensional de TR500. Sin embargo, los planos se realizaron solicitando el bordo hasta la cota de 1187 m.s.n.m.m.
- Acción requerida: recuperar la cota de diseño en las zonas en que el bordo haya sido compactado como consecuencia del tránsito de vehículos pesados.

II.Ancho de corona del al menos 3.50 m para bordos menores a 4.50 m.



- a. El bordo es de máximo 3m de altura con ancho de 5 m a 6 m.
- b. Acción requerida: ninguna

III.Relación de talud Aguas Arriba y Aguas Abajo: 2:1.

- a. Si cumple con esta relación de Talud de manera sobrada aguas arriba, Aguas abajo cumple de manera muy justa.
- b. Acción requerida: Ninguna.

IV.Trinchera o dentellón Impermeable en caso de desplante en material permeable.

- a. La mayor parte del bordo actual está localizado en estratos arcillosos no permeables. Excepto en la zona comprendida en el cedamiento 0+974 m a 1+531 m.
- b. Acción Requerida: Diseño de subdrenaje apropiado.

V.Zampeado seco de protección en Talud aguas arriba.

- a. Prácticamente todo el bordo carece de protección en el talud aguas arriba.
- b. Acción requerida: Colocar una cortina de protección en el talud y un sistema de drenaje superficial de la corona.

VI.Revestimiento de corona con grava de al menos 20 cm de espesor.

- a. Originalmente el Bordo MMH contaba con una pantalla de riego y grava. Actualmente como consecuencia del tránsito de vehículos pesados, este revestimiento no está ya presente.
- b. Acción: Es necesario que en la parte de la corona, sea retrabajo el material y se compacte y se considere una capa de 20 centímetros de material de base compactado al 95%, con la finalidad de evitar filtraciones a las capas inferior y sirva como un superficie de rodamiento que eviten deformaciones por el paso de vehículos con la conjugación de la humedad creada por los eventos de lluvia. Es decir, se requiere el diseño de un pavimento o bien, cancelar la circulación de vehículos.

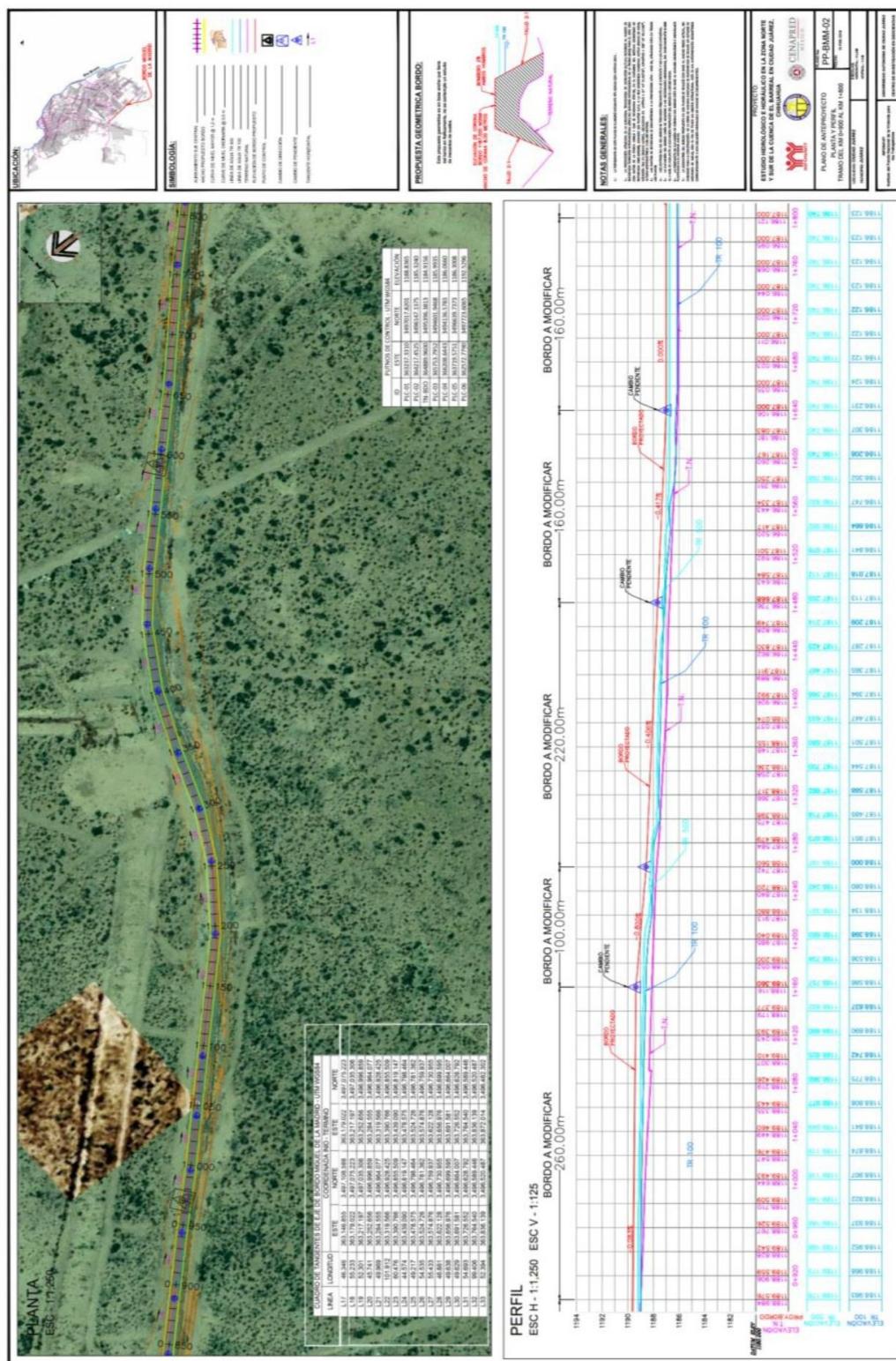
VIII.2. Proyecto Geométrico de Prolongación del Bordo MMH



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

Prolongación del Bordo en dirección Sureste hasta cortar la cota 1187 m.s.n.m.m. La parte sureste de la zona urbanizada adolece de obra hidráulica para contener flujos de la cuenca sur poniente. Es necesario prolongar el bordo MMH hasta cortar a la cota del tirante correspondiente a un bordo libre de una tormenta de 500 años. Esta obra es necesaria para que los desarrollos de la zona sureste del Blvd. Independencia estén protegidos ante eventos hidrometeorológicos extremos. De no construirse esta obra, deberán reacondicionar su obra pluvial a contener la mancha de inundación calculada en este estudio para un periodo de retorno de 100 años.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"





“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

VIII.2.1. Propuesta de mejoramiento del Bordo MMH

CADENAMIENTO		DAÑO OBSERVADO	ACCIONES
0+470	0+600	Zona Alterada	RECONFORMAR EL BORDO EN ESTA ZONA
0+974	1+531	Estrato de desplante en arena	DISEÑAR SUBDRENAGE CON DENTELLON O PROTECCION CON ENROCAMIENTO Y CONCRETO LANZADO
2+700	3+140	Heterogeneidad lateral	RECONFORMAR BORDO EN EL CENTRO DE LA TER 24.REEMPLAZAR MATERIAL EN TER 25
4+500	4+550	Heterogeneidad lateral	REEMPLAZAR 4 M DE BORDO EN EL CENTRO DE TER 9
4+800	4+840	Presencia de arenas	RECONFORMAR BORDO EN LAS C.M 8 Y 26 m DE TER 6
0+000	5+153	El talud aguas arriba carece de protección aguas arriba	Zampeado seco para protección o alternativa similar de protección.



B. ESTRATEGIAS A PLAZO MEDIANO

Estas acciones están enfocadas a resolver la problemática de urbanización a futuro de las cuencas localizadas aguas arriba del Bordo MMH y su eventual prolongación. Estas acciones están basadas en tanto los resultados del análisis hidráulico así como en los promedios de evapotranspiración y de infiltración.

En base a los resultados de la simulación hidráulica, fue posible identificar plenamente las áreas de mayor concentración de flujo o escurrimiento que impactan de manera notable el Barreal. Es decir, el análisis del mapa de velocidad máxima (Figura VII.3.2.) identifica plenamente como descienden los escurrimientos en la cuenca El Barreal.

La principal aportación proviene de la subcuenca Poniente dado que ninguno de los diques existentes en esa cuenca (Sta. Elena I y II, Charly I y II y Yonkes) presentan condiciones óptimas de regulación o almacenamiento. Es decir, en base al análisis de operación hidráulica (Tabla 5), prácticamente la retención es mínima y todo el escurrimiento es conducido hasta la zona de restitución lagunar.

En el caso de la subcuenca centro, los dique KM 28 y Subestación (Herradura) tampoco operan satisfactoriamente, ni siquiera para periodos de retronó ordinarios.

Finalmente, la cuenca surponiente, con una importante área de aportación, es regulada de manera eficiente, conforme al análisis de operación hidráulica por las lagunas naturales L. Poniente y L.P.Madrid.



VIII.3. ACCIONES DE LA ESTRATEGIA A MEDIANO PLAZO

I. Preservación del sistema lagunar subsidiario: El análisis de operación hidráulica y las corridas hidráulicas indican claramente que el sistema de lagunas subsidiarios debe ser preservado ante proyectos de urbanización, ya que estas lagunas son vasos de almacenamiento que no solo protegen la zona urbanizada actualmente ante eventos hidrometeorológicos extremos, sino incluso ante lluvias ordinarias dada la gran capacidad de almacenamiento que disponen la Laguna Poniente con 950 mil metros cúbicos y laguna P. Madrid con 300 mil m³. Preservación de las zonas lagunares subsidiarias Es de suma importancia preservar la red de lagunas subsidiarias de la zona Sur de la cuenca, tomando como medida la no urbanización de las mismas. Ya que, al hacerlo, el volumen de alrededor de 1,000,000 de metros cúbicos que dichas lagunas de manera natural retienen se vería trasladado a zonas circundantes, teniendo como consecuencia nuevos problemas de inundación. El criterio para el dimensionamiento de las lagunas será la mancha que genere el periodo de retorno de 500 años, ya que estas deben de operar bajo los mismos criterios que el Bordo Miguel de la Madrid Hurtado. Además, estas lagunas funcionaran como “megavasos” de captación para los futuros desarrollos en la zona (no estando exentos de construir obra pluvial). Los desarrollos a construir en la zona de lagunas subsidiarias deben de respetar el manejo de rasantes para asegurar la llegada del agua dichas lagunas, así como la construcción de sus propias obras para no aumentar el volumen de llegada. Se podría reducir el área de las lagunas hasta un 50 por ciento siempre y cuando el volumen a TR-1000 de estas se conserve y se diseñe un plan de mantenimiento e infiltración que garantice el correcto funcionamiento de “megavaso”.

El sistema de lagunas subsidiarios y los polígonos del PMDU en los cuales se localizan (Figura VIII.3.1) muestran, para la corrida de 100 años, la importancia de este sistema de regulación hidráulica natural.

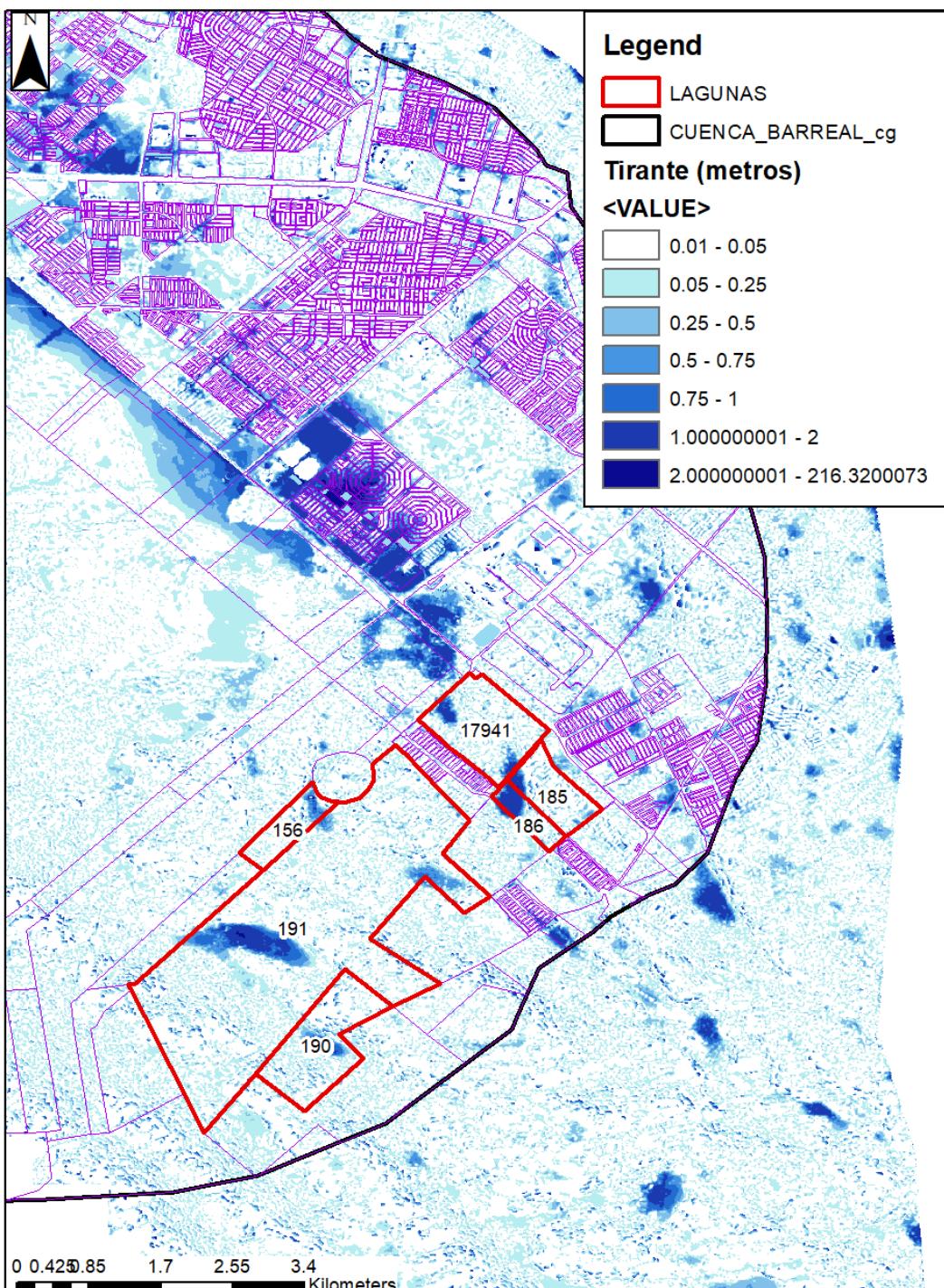


Figura VIII.3.1. Sistema lagunar subsidiario y polígono PMDU. Este sistema debe ser preservado del proceso de urbanización.



- II. Es imperativo que la autoridad haga uso de los mapas de inundación y severidad en el generados en este estudio durante el proceso de asignación y autorización de nuevos desarrollos urbanos.
- III. Recomendar al municipio que en la realización de proyectos ejecutivos para la construcción de vasos de almacenamiento con las siguientes capacidades:

Tabla 6. Capacidad de almacenaje de las obras hidráulicas.

ESTRUCTURA	CAPACIDAD TR500 (m ³)
STA ELENA I	721,000
STA ELENA II	238,000
FLUOREX	261,000
CHARLY 1	NA
CHARLY 2	393,000
KM28	244,000

- IV. En función de los volúmenes de almacenamiento de las obras propuestas, (incluyendo bordo MMH), se debe contemplar como parte de la solución que tanto autoridades como desarrolladores urbanos contemplen que el manejo de escurrimientos no debe limitarse exclusivamente a la contención del escurrimiento durante el tránsito de la avenida. Sino que los importantes volúmenes escurridos deben ser considerados como un activo hídrico de extrema importancia, dado que, siendo la zona parte del gran



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

desierto chihuahuense, caracterizada por escasos promedios de precipitación y una presencia casi nula de aguas perennes (excepto el Rio Bravo), los volúmenes eventualmente captados deberán ser re-incorporados al acuífero del Bolsón del Hueco, el cual se abate, conforme a reportes del organismo operador local (Junta Municipal de Aguas y saneamiento (JMAS)), un promedio aproximado 1 m por año, como consecuencia del consumo de tipo de uso público e industrial. Para l infiltración o re-inyección deberá adoptarse la normatividad vigente al respecto. En el caso de los desarrollos, ubicados en la zona lagunar, donde la geofísica revelo hasta 30 m de espesor de arcillas, deberá considerarse que las estructuras de infiltración se localicen en su descarga a profundidades mayores sobre un estrato permeable.

- V. Elaboración de un plan de contingencias por parte de Protección Civil municipal considerando como escenario de evacuación la cota de 1,186.123 m.s.n.m correspondiente al tirante hidráulico asociado a una tormenta con periodo de retorno de 100 años.

- VI. Actualización del Atlas de Riesgos de Ciudad Juárez.