

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE
RETENCIÓN EN ALMACENAMIENTOS
SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO
SAN MIGUEL, SONORA, MÉXICO.

TESIS

Que para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.



PRESENTA:

DANIRA ADRIANA MARTÍNEZ GARCÍA.

Hermosillo, Sonora, Agosto de 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Índice

Resumen	1
I. Introducción.....	2
1.1. Objetivo.....	3
1.2. Hipótesis	4
1.3. Justificación.....	4
II. Revisión de literatura.....	5
2.1. Relevancia de los repesos	5
2.2. Ley y especificaciones para la construcción y operación	5
2.3. Información oficial sobre repesos en las cuencas hidrológicas superficiales.....	14
2.3.1. Registro público de derechos de agua	14
2.3.2. Cartografía topográfica de INEGI	14
2.4. Ubicación espacial de los repesos.....	14
2.5. Detección de cuerpos de agua con percepción remota	15
2.6. Estimación del volumen de captación en repesos	16
2.6.1. Métodos Directos.....	16
2.6.2. Métodos Indirectos	20
III. Materiales y métodos	22
3.1. Sitio de estudio.....	22
3.1.1. Clima	24
3.1.2. Evaporación	26
3.1.3. Fisiografía	26
3.1.4. Estratigrafía.....	28
3.1.5. Hidrografía	34
3.1.6. Uso de Suelos y Vegetación	35

3.1.7. Agua Subterránea	40
3.1.8. Demografía	42
3.2. Equipo y programas informáticos	42
3.3. Metodología	43
3.3.1. Identificación y conteo de los repesos	44
3.3.2. Estimación del volumen	50
3.3.2.1. Levantamiento topográfico	50
3.3.2.2. Estimación del volumen de los repesos	51
IV. Resultados y discusión.....	55
4.1. Conteo de los repesos en registros oficiales.....	55
4.2. Volumen de almacenamiento de los repesos	58
4.3. Fisiografía de subcuencas de los repesos.....	60
V. Conclusiones e investigación futura	64
4.1. Conclusiones.....	64
4.2. Investigación futura	65
VI. Referencias	67
VII. Anexos.....	71

Índice de Figuras

Figura 1. Especificaciones de diseño de bordos de tierra (Subsecretaría de Desarrollo Rural, SAGARPA, sf).	13
Figura 2. Estimación de la capacidad de almacenamiento de un reservorio.....	18
Figura 3. Municipios de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).	23
Figura 4. Clima en la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).	25
Figura 5. Río San Miguel en la parte media de la cuenca.....	26
Figura 6. Fisiografía de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).....	28
Figura 7. Geología de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).....	33
Figura 8. Hidrografía de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).....	34
Figura 9. Tipo de vegetación en la CRSM.....	35
Figura 10. Tipo de vegetación en la CRSM.....	36
Figura 11. Estado de la vegetación antes del Monzón de Norteamérica.	36
Figura 12. Estado de la vegetación después del Monzón de Norteamérica.....	37
Figura 13. Tipo de Vegetación CRSM, Sonora (INEGI, 2010).	38
Figura 14. Geohidrología en la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).....	41
Figura 15. Diagrama de flujo del procedimiento de conteo de repesos.	45
Figura 16. Carta vectorizada INEGI	46
Figura 17. Imagen de Google Earth	47
Figura 18. Imagen de color verdadero obtenida con imágenes LANDSAT 8.	48
Figura 19. Imagen de falso color y NDWI obtenida con imágenes LANDSAT 8. ...	49
Figura 20. Imagen de NDWI obtenidas con imágenes LANDSAT 8.....	49
Figura 21. Imágenes de represo 1.	50
Figura 22. Distribución de puntos x,y,z en represo.	51
Figura 23. Diferentes niveles de agua en un represo.....	52
Figura 24. Curva de Elevaciones-Áreas-Capacidades Represo 1.	54
Figura 25. Distribución de los repesos contados en la cuenca.	56
Figura 26. Repesos registrados en cartografía de INEGI.	57

Índice de Tablas

Tabla 1. Localización de represo 1.....	53
Tabla 2. Datos de elevaciones y áreas del represo 1.....	53
Tabla 3. Represos y cantidad de represos por municipio en la cuenca.	58
Tabla 4. Información sobre la muestra de represos de la cuenca de estudio.....	59
Tabla 5. Volumen almacenado por municipio de la cuenca.	59
Tabla 6. Fisiografía de 160 subcuencas de la Cuenca San Miguel, Sonora.	62

Dedicatoria

A mi padre Ramón (†), a mi madre Luz Elena y a mis hermanas Claudia y Fernanda por todo el apoyo moral,

A Jorge Escobar por el estímulo, apoyo y el amor,

A César Adrián y Ramón Alejandro mis grandes motivos para seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a las personas que estuvieron compartiendo sus conocimientos conmigo para hacer posible la conclusión de esta tesis.

A directivos y profesores del **Departamento de Geología y de la Maestría en Ciencias en Geología de la Universidad de Sonora**, por brindarme la oportunidad de ampliar mis conocimientos y su apoyo durante este proceso.

Al **Dr. Juan Saiz Hernández** por sus asesorías, paciencia y dedicación para lograr esta importante meta en mi vida y sobre todo por su gran amistad.

Al **M.C. Alfredo Ochoa Granillo**, por sus ideas y recomendaciones respecto a este trabajo.

Al **Dr. Julio César Rodríguez**, por compartir conmigo sus valiosos conocimientos.

Al **M.I. José Francisco Flores Félix**, por ser parte de este trabajo.

A mis compañeros de la **Comisión Estatal del Agua**, por su apoyo en el trabajo de campo realizado.

Un agradecimiento y reconocimiento especial para los profesores para los profesores **Juan Alejandro Saiz Rodríguez** y **Alejandra Castro Valencia**, así como a los estudiantes de Ingeniería Civil **Karen Rocío Palomares Corbalá**, **Laura María Camargo Rojo**, **Ariana Paz González**, **Gabriela Elizabeth Morales Morales**, **Ramón Saiz Rodríguez** y **Luis Fernando Amador Leyva** por su apoyo en los trabajos de campo y en el procesamiento de los datos.

Resumen

La construcción de pequeños almacenamientos de agua es una práctica común y necesaria para el desarrollo agrícola, industrial y ganadera y en México. Estas obras de Ingeniería, además de los impactos ambientales que ocasionan en sus inmediaciones, retienen un importante volumen de agua que no llega como escurrimiento a la salida de la vertiente. Su construcción está regulada por *La Ley Nacional de Aguas* a través de la *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación* y la *Comisión Nacional del Agua* y la información sobre estos cuerpos de agua está resguardada y disponible para los usuarios a través del *Registro Público de Derechos de Agua* y del *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*; sin embargo, en cotejos de la información oficial con imágenes de Google Earth se observó que existen repesos en la cuenca del Río San Miguel, Sonora, que no están registrados en las bases de datos oficiales y no se tenía conocimiento sobre la cantidad ni el volumen de agua que retienen, por lo que en esta tesis se realizó un conteo de los cuerpos de agua superficiales de la cuenca para actualizar los registros oficiales, realizando búsquedas sistemáticas en *Google Earth* y validando los resultados con el *índice de agua de la diferencia normalizada* (NDWI) elaborado con imágenes LANDSAT; además, se estimó el volumen de almacenamiento de los aprovechamientos a partir de un muestreo en campo. Los resultados muestran que el 62.5% de los cuerpos de agua no están identificados ni registrados en los documentos oficiales y que los 510 repesos de la cuenca retienen un volumen de 6.11 Hm^3 de escurrimiento que se produce en el 42.4% de la superficie total de la cuenca.

I. Introducción

Los repesos son obras de Ingeniería que consisten en una obstrucción de un curso de agua con la finalidad de embalsarla y posteriormente utilizarla para actividades productivas o para evitar daños debido a los escurrimientos excesivos.

Estas estructuras, que se construyen por lo general de tierra y para uso agropecuario, en México están regulados por la Ley de Aguas Nacionales (LAN) a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Su construcción implica una inversión que, dependiendo de la justificación de la obra o los potenciales beneficios, puede ser compartida por las dependencias oficiales y los usuarios beneficiados.

Este tipo de obras suele provocar un notable impacto ambiental que debe ser analizado en la proyección de la obra. El volumen retenido por la estructura, es un escurrimiento que no llegará a la salida de la cuenca; también, el uso del suelo, vinculado al almacenamiento, ya sea industrial, ganadero o agrícola, impactará los terrenos adyacentes a la estructura; además, el entorno inmediato al repeso cambia drásticamente las condiciones de la vegetación y los elementos del Ciclo Hidrológico como son evaporación, transpiración e infiltración, principalmente.

La información oficial sobre los aprovechamientos de agua de todo el país debe estar disponible a los usuarios a través del *Registro Público de Derechos de Agua* (REPDA) y de la cartografía topográfica editada por el *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (INEGI).

En la cuenca del Río San Miguel, Sonora, estos documentos oficiales, reportan la existencia de 191 repesos, la totalidad de ellos contenida en la carta topográfica 1:50,000 de INEGI, debido a que el REPDA solo reporta aprovechamientos de agua subterránea de la zona.

En una análisis visual de la zona del área de la vertiente en el sistema *Google Earth*, se pudo apreciar que existen un número mayor de repesos que los registrados en los documentos oficiales, por lo que es necesario utilizar un procedimiento sistemático basado en registros oficiales y recursos informáticos y percepción remota para identificar, contar, estimar volúmenes de almacenamiento y analizar la fisiografía de las subcuencas de los repesos existentes en la cuenca del Río San Miguel, Sonora.

1.1. Objetivo

Determinar el volumen retenido en los repesos de uso agropecuario o industrial de la Cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

Objetivos específicos

- Establecer un procedimiento sistemático para identificar y contabilizar los repesos de la zona de estudio que no están contenidos en los registros oficiales.
- Determinar el número de repesos existentes en la cuenca de acuerdo a los registros oficiales.
- Determinar el volumen de almacenamiento de agua a partir de una muestra representativa de repesos de existentes en la cuenca.
- Determinar los rasgos fisiográficos de las subcuencas que aportan escurrimiento a los repesos de la vertiente.

1.2. Hipótesis

La tesis se sustenta en la premisa de que en la cuenca del Río San Miguel, Sonora, existe un número mayor de repesos que los que reportan los registros oficiales (REPDA e INEGI) y de que es posible identificarlos y contarlos con un procedimiento sistemático basado en percepción remota y el sistema informático en línea Google Earth.

Los repesos están distribuidos en toda la extensión de la cuenca y, al igual que sus subcuencas, son de pequeña magnitud y es posible determinar el volumen promedio de almacenamiento a partir de una muestra representativa.

1.3. Justificación

La cuenca del Río San Miguel constituye un importante laboratorio para el estudio de los elementos del Ciclo Hidrológico en zonas áridas en donde desde el año 2004 se han estado realizando importantes estudios y modelación del escurrimiento, obteniendo valiosos resultados que pueden mejorar si se consideran los pequeños almacenamientos construidos en la vertiente.

La cantidad de repesos y la estimación del volumen de agua que pueden almacenar, constituyen elementos de gran importancia para mejorar el cálculo del balance de agua en la cuenca de estudio.

Los resultados obtenidos podrán servir de base para identificar sitios y estimaciones de recarga de acuíferos.

Se aportan más elementos para planificar el uso y manejo del recurso hídrico en la cuenca y a nivel municipal, se mejoran los planes de ordenamiento territorial identificando los repesos de cada municipio y su capacidad de almacenamiento.

II. Revisión de literatura

2.1. Relevancia de los repesos

En el ámbito prevaleciente en los últimos años sobre la conservación de los recursos naturales relacionados a la actividad agropecuaria y en el esquema económico actual, la construcción de pequeñas obras hidráulicas contribuye a que los productores rurales desarrollen sus actividades productivas con mayor certeza y de forma armónica con su entorno (SAGARPA, 2009), generando ingresos tanto a los sectores de proveedores de bienes y servicios como a los propios productores y pobladores, que aportan mano de obra para el desarrollo de los proyectos. Se construyen en atención a solicitudes de usuarios de las diversas regiones del País, en especial de las zonas áridas y semiáridas (Arteaga Tovar, sf) donde la disponibilidad del agua es crítica por la baja precipitación pluvial.

Este tipo de estructuras permiten un relativamente fácil manejo del recurso hídrico a los usuarios, debido a que no se requieren grandes obras para su conducción. Con este tipo de proyectos, se pretende construir almacenamientos de agua económicos, que reúnan las características de estabilidad mínima en las obras, que garanticen su seguridad y correcto funcionamiento y cumplan con las leyes emanadas de la Constitución Mexicana y los reglamentos que de ella se derivan.

2.2. Ley y especificaciones para la construcción y operación

Ley de Aguas Nacionales

La *Ley de Aguas Nacionales* (LAN) de acuerdo a la reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 24 de marzo de 2016, es reglamentaria del *Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* y de

ella emanan todas las normas y reglamentos en materia de aguas nacionales. Como lo establece en su Artículo 1, Capítulo Primero, la LAN es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Para el cumplimiento y aplicación de esta Ley, como lo establece el Artículo 5, el Ejecutivo Federal es el responsable de promover la coordinación de acciones con los gobiernos de los estados y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones. La coordinación de la planeación, realización y administración de las acciones de gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrológica o por región hidrológica será a través de los *Consejos de Cuenca*, en cuyo seno convergen los tres órdenes de gobierno y *participan y asumen compromisos los usuarios, los particulares y las organizaciones de la sociedad*, conforme a las disposiciones contenidas en esta Ley y sus reglamentos; además, debe fomentar la participación de los usuarios del agua y de los *particulares en la realización y administración de las obras* y de los servicios hidráulicos y favorecer la descentralización de la gestión de los recursos hídricos conforme al marco jurídico vigente.

La Comisión Nacional del Agua

En su capítulo III, la LAN establece que **Comisión Nacional del Agua** (CONAGUA) es un órgano administrativo desconcentrado de "la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que tiene por objeto ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el *Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos*, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico. En el ejercicio de sus atribuciones, la CONAGUA se organizará en dos modalidades: a. El Nivel Nacional, y b. El Nivel Regional Hidrológico -

Administrativo, a través de sus *Organismos de Cuenca*. Las atribuciones, funciones y actividades específicas en materia operativa, ejecutiva, administrativa y jurídica, relativas al ámbito Federal en materia de aguas nacionales y su gestión, se realizarán a través de los Organismos de Cuenca, con las salvedades asentadas en la presente Ley. Son atribuciones de "la Comisión" en su Nivel Nacional, las siguientes: I. Fungir como la Autoridad en materia de la cantidad y de la calidad de las aguas y su gestión en el territorio nacional y ejercer en consecuencia aquellas atribuciones que conforme a la presente Ley corresponden a la autoridad en materia hídrica, dentro del ámbito de la competencia federal, con apego a la descentralización del sector agua, excepto las que debe ejercer directamente el Ejecutivo Federal o la SEMARNAT y las que estén bajo la responsabilidad de los Gobiernos de los estados, del Distrito Federal o municipios;

Dentro de su marco normativo, de acuerdo al apartado XVI del artículo 9 del mismo capítulo, la CONAGUA regula los servicios de riego en distritos y unidades de riego en el territorio nacional, e integrar, con el concurso de sus Organismos de Cuenca, los censos de infraestructura, los volúmenes entregados y aprovechados, así como los padrones de usuarios, el estado que guarda la infraestructura y los servicios. Esto no afectará los procesos de descentralización y desconcentración de atribuciones y actividades del ámbito federal, ni las disposiciones, facultades y responsabilidades estatales y municipales, así como de asociaciones, sociedades y otras organizaciones de usuarios de riego, en la coordinación y prestación de los servicios referidos; también, conforme al apartado XLV, debe mantener actualizado y hacer público periódicamente el inventario de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes y de la infraestructura hidráulica federal; clasificar las aguas de acuerdo con los usos, y elaborar balances en cantidad y calidad del agua por regiones hidrológicas y cuencas hidrológicas.

Organismos de Cuenca

Un aspecto relevante de la LAN, es que contempla la descentralización de funciones y acciones en relación al recurso hídrico. En el capítulo III BIS,

establece que en el ámbito de las cuencas hidrológicas, regiones hidrológicas y regiones hidrológico - administrativas, el ejercicio de la Autoridad en la materia y la gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, la CONAGUA las realizará a través de *Organismos de Cuenca* de índole gubernamental y se apoyará en *Consejos de Cuenca* de integración mixta en términos de Ley. En los reglamentos de esta Ley se dispondrán mecanismos que garanticen la congruencia de la gestión de los Organismos de Cuenca con la política hídrica nacional y con el Programa Nacional Hídrico.

Los Organismos de Cuenca, en las regiones hidrológico - administrativas son unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas, con carácter autónomo que esta Ley les confiere, adscritas directamente al Titular de la CONAGUA, cuyas atribuciones, naturaleza y ámbito territorial de competencia se establecen en la presente Ley y se detallan en sus reglamentos y cuyos recursos y presupuesto específicos son determinados por la CONAGUA. Con base en las disposiciones de la presente Ley, la CONAGUA organizará sus actividades y adecuará su integración, organización y funcionamiento al establecimiento de los Organismos de Cuenca referidos, que tendrán el perfil de unidades regionales especializadas para cumplir con sus funciones. Dichos Organismos de Cuenca funcionarán armónicamente con los Consejos de Cuenca en la consecución de la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas hidrológicas y regiones hidrológicas. Los Organismos de Cuenca por su carácter especializado y atribuciones específicas que la presente Ley les confiere, actuarán con autonomía ejecutiva, técnica y administrativa, en el ejercicio de sus funciones y en el manejo de los bienes y recursos que se les destinen y ejercerán en el ámbito de la cuenca hidrológica o en el agrupamiento de varias cuencas hidrológicas que determine la CONAGUA como de su competencia, las facultades establecidas en esta Ley, sus Reglamentos y el Reglamento Interior de la CONAGUA, sin menoscabo de la actuación directa por parte de la CONAGUA cuando le competa, conforme a lo

dispuesto en la Fracción IX del Artículo 9 de la presente Ley y aquellas al cargo del Titular del Poder Ejecutivo Federal.

Por su parte, haciendo referencia al artículo 12 bis 6, los Organismos de Cuenca, de conformidad con los lineamientos que expida la CONAGUA, ejercerán dentro de su ámbito territorial de competencia tienen como atribuciones, de acuerdo a la fracción X, regular los servicios de riego en distritos y unidades de riego conforme a las disposiciones que establezca la CONAGUA para este efecto y *llevar actualizados los censos de infraestructura, los volúmenes entregados y aprovechados, así como los padrones de usuarios*, el estado que guarda la infraestructura y los servicios. Esto no afectará las disposiciones, facultades y responsabilidades estatales y municipales, así como de asociaciones, sociedades y otras organizaciones de usuarios de riego, en la coordinación y prestación de los servicios referidos.

Consejos de cuenca.

En el Capítulo, en su artículo 13, la CONAGUA, previo acuerdo de su Consejo Técnico, conforma los Consejos de Cuenca, órganos colegiados de integración mixta, conforme a la Fracción XV del Artículo 3 de la LAN. La coordinación, concertación, apoyo, consulta y asesoría referidas en la mencionada fracción están orientadas a formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca, así como las demás que se establecen en este Capítulo y en los Reglamentos respectivos. Los Consejos de Cuenca no están subordinados a la CONAGUA o a los Organismos de Cuenca. Los Consejos de Cuenca considerarán la pluralidad de intereses, demandas y necesidades en la cuenca o cuencas hidrológicas que correspondan.

De acuerdo al artículo 13 bis 3, los Consejos de Cuenca tendrán la responsabilidad de coadyuvar al desarrollo de la infraestructura hidráulica y los servicios de agua para uso doméstico, público urbano y agrícola, incluyendo el servicio ambiental.

Participación de los usuarios

La ley contempla la participación de los usuarios de las aguas nacionales en todos los aspectos relacionados con el agua incluidos en la LAN y en lo que respecta a la infraestructura, de acuerdo al artículo 97, los faculta para que puedan realizar, por sí o por terceros, cualesquiera obras de infraestructura hidráulica que se requieran para su explotación, uso o aprovechamiento. La administración y operación de estas obras serán responsabilidad de los usuarios o de las asociaciones que formen al efecto, independientemente de la explotación, uso o aprovechamiento que se efectúe de las aguas nacionales. Cuando con motivo de dichas obras se pudiera afectar el régimen hidráulico o hidrológico de los cauces o vasos propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, así como en los casos de perforación de pozos en zonas reglamentadas o de veda, se requerirá de permiso en los términos de los Artículos 23 y 42 de esta Ley y de sus reglamentos. Para este efecto la Autoridad competente expedirá las Normas Oficiales Mexicanas que correspondan. "La Autoridad del Agua" supervisará la construcción de las obras, y podrá en cualquier momento adoptar las medidas correctivas necesarias para garantizar el cumplimiento del permiso y de dichas normas.

Asistencia técnica

En su artículo 99 la LAN establece que "La Autoridad del Agua" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación. "La Autoridad del Agua" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosostenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios. La CONAGUA establecerá las normas o realizará las acciones

necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o ponga en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes o de los ecosistemas vitales.

Especificaciones técnicas para la construcción de repesos.

Los instrumentos legales para la observancia de la LAN en relación al aprovechamiento de escurrimientos superficiales para uso agropecuario en pequeñas áreas rurales, se materializa en el documento *Presas con cortina de tierra compactada para abrevadero y pequeño riego* editado por la *Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural de la Subsecretaría de Desarrollo Rural de la SAGARPA* con el que se orienta al personal técnico involucrado en programas de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua, en aspectos prácticos que le permitan establecer en campo las obras necesarias de conservación que se deriven.

Este documento brinda los elementos técnicos necesarios para el diseño, construcción y operación de bordos de almacenamiento de tierra compactada para abrevadero y pequeño riego con un almacenamiento menor de 250,000 m³.

Condiciones donde se establece

Se exigen que se tengan condiciones topográficas, hidrológicas, geológicas y de mecánica de suelos. Las condiciones topográficas son necesarias para tener un estrechamiento topográfico suficiente para conformar la boquilla donde se ubique el bordo, así como un valle hacia aguas arriba para ubicar el vaso de almacenamiento.

Las condiciones hidrológicas son exigidas para tener una cuenca lo suficientemente grande, así como precipitación suficiente para garantizar el escurrimiento necesario que garantice el abastecimiento para lograr que se llene el vaso. Las condiciones geológicas son necesarias para garantizar en el caso del bordo la capacidad para resistir el peso del mismo, así como la impermeabilidad

necesaria y para el vaso el que no se presenten fallas o materiales que impidan la impermeabilidad necesaria.

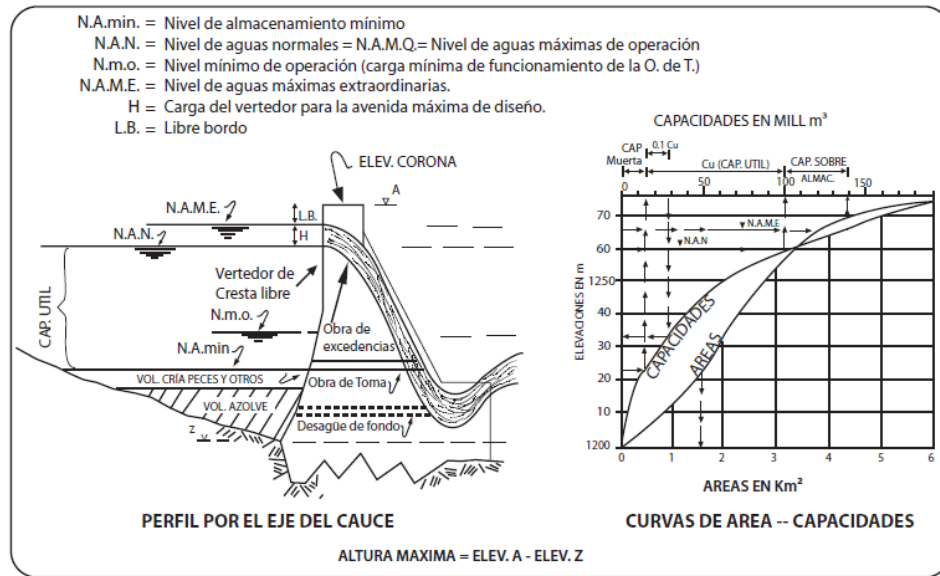
Las condiciones de mecánica de suelos se exigen para contar con bancos de materiales arcillosos que proporcionen la impermeabilidad necesaria en el bordo de almacenamiento.

Crterios y especificaciones de diseo

Para poder efectuar el diseo de un bordo de almacenamiento se requiere de un conocimiento previo de las condiciones del sitio en lo que respecta a la topografía, geología, hidrología y mecánica de suelos, fundamentalmente en la etapa que se ha dado en llamar estudios previos, comenzando con un reconocimiento del sitio.

La construcción de bordos o repesos también se contempló dentro de las acciones del programa de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA), contenido en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

En las especificaciones se establece que un bordo de almacenamiento con fines de abrevadero o pequeño riego es una obra hidráulica debe contar con un vertedor de excedencias y una obra de toma. La altura del bordo, o cortina del repeso, debe ser inferior a 15 metros, aunque se recomienda que sean inferiores a 10 m y tener una capacidad de almacenamiento inferior a 100,000 m³ (Dal-Ré, 2003), aunque pueden construirse con capacidad hasta de 250,000 m³ (SAGARPA, SF).



Fetch (en Km)	Bordo Libre (en m)
< 1.6	1.0
1.6 a 4.0	1.22
4.0 a 8.00	1.52
> 8.0	1.83

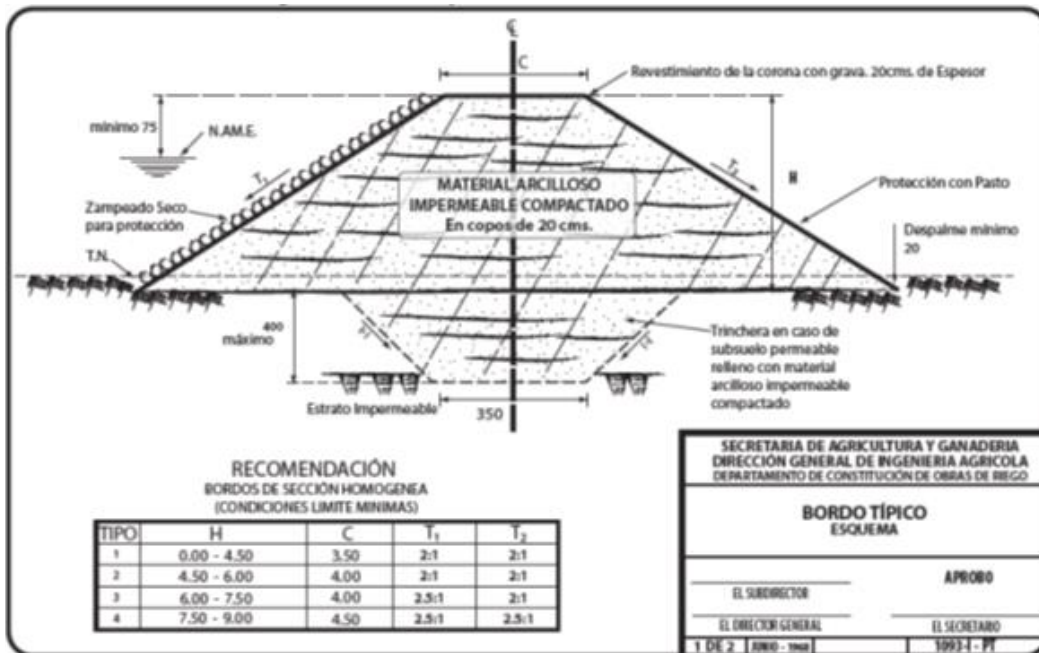


Figura 1. Especificaciones de diseño de bordos de tierra (Subsecretaría de Desarrollo Rural, SAGARPA, sf).

2.3. Información oficial sobre repesos en las cuencas hidrológicas superficiales.

La información oficial sobre los repesos es generada y resguardada en la CONAGUA y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y se encuentra a disposición de los usuarios.

2.3.1. Registro público de derechos de agua

Definido en el artículo 3, sección XLIV de la LAN, el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) es un registro que proporciona información y seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y bienes inherentes a través de la inscripción de los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga, así como las modificaciones que se efectúen en las características de los mismos.

2.3.2. Cartografía topográfica de INEGI

INEGI tiene a disposición del usuario la cartografía a escala 1:50000, en la que se pueden apreciar los cuerpos de agua superficiales, incluyendo los repesos de poca superficie utilizados en zonas rurales para uso agrícola o ganadero.

2.4. Ubicación espacial de los repesos

El usuario beneficiado con la construcción de un repeso dispone de la información cartográfica de INEGI para ubicar un repeso en un predio y esta información, junto con datos adicionales que proporciona, se debe incluir en la base de datos del REPDA.

Los datos de INEGI están disponibles en formato impreso en papel, en escala 1:50000 y en formato digital *shape* o *dxf*, lo que permite manipularlos en un sistema CAD o en un *Sistema de Información Geográfica (SIG)*.

2.5. Detección de cuerpos de agua con percepción remota

Los sensores remotos tienen la capacidad de detectar el agua superficial debido que el agua en el suelo, en la vegetación y en los cuerpos de agua, absorbe la radiación en longitudes de onda cercanas al infrarrojo y mayores. El agua limpia tiene menor reflectancia que el agua turbia (Franzosi, 2010), porque el sedimento en suspensión y el contenido de materia orgánica en él, provoca un incremento en la respuesta espectral en las aguas superficiales (Turkish, 2005; Karabulut and Ceylan, 2005).

El proceso para identificar cuerpos de agua no es una tarea fácil debido a que muchos rasgos superficiales están mezclados con ellos, como las sombras de nubes, las laderas orientadas al oeste o la vegetación. Otro problema es el tamaño del cuerpo de agua, que en una imagen de baja resolución, puede ser de dos o tres píxeles (ZHU and Camargo Neto, sf), aunque estudios desarrollados con imágenes LANDSAT muestran que es posible mapear con precisión cuerpos de agua de hasta 0.7 ha, en los que incluso se puede determinar el grado de sedimentación (Mereuță, 2015).

En las últimas décadas, la literatura especializada reporta el uso de los índices de agua de la diferencia normalizada (NDWI) propuesto por Gao (1996) y el índice mejorado de agua de la diferencia normalizada (MNDWI) propuesto por Xu (2006), que sirven de base para el reconocimiento automatizado de cuerpos de agua que se han aplicado en regiones de distintos países (Tang, 2013; Mishra and Prasad, 2015) incluso en estudios globales (Feng, 2016).

En esta tesis se utilizó el NDWI, que se desarrolló para detectar en forma remota desde el espacio las moléculas de agua líquida en las copas de la vegetación y fue utilizado por McFeeters (1996) para delinear cuerpos de agua. Entre las fuentes de datos más utilizadas para la aplicación de estos procedimientos, están las imágenes de los satélites Landsat TM, que tienen muchas ventajas por su resolución espacial y el costo, aunque después del lanzamiento exitoso de

Landsat 8, los datos del sensor Operational Land Imager (OLI) están recibiendo cada vez más atención por sus nuevas mejoras.

El NDWI se determina con la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 1} \dots\dots\dots NDWI = \frac{\text{Verde} - \text{IRC}}{\text{Verde} + \text{IRC}}$$

Donde Verde, es la banda 2 e IRC es la banda 4 del satélite Landsat TM, que en el satélite LANDSAT 8 corresponden a las bandas 3 y 5, respectivamente.

2.6. Estimación del volumen de captación en repesos

En toda la extensión del Río Sonora, se pueden observar repesos para uso ganadero, agrícola e industrial; sin embargo, carecen de instrumentación o estructuras que permitan conocer su volumen. En este apartado del documento, se revisarán algunas de las metodologías utilizadas actualmente para este fin, basadas en la forma del depósito y sabiendo que generalmente son geoméricamente irregulares sin ejes de simetría.

2.6.1. Métodos Directos

Consisten en fórmulas que se utilizan para estimar la capacidad de almacenamientos pequeños como la que se presenta en la ecuación 1, de la que se aceptan diferentes valores para las constantes K1 y K2.

$$\text{Ecuación 2} \dots\dots\dots C = K1 * K2 * D * W * T$$

Dónde:

K1 = constante

K2 = segunda constante relacionada con la forma de la sección transversal valle

d = Profundidad máxima del agua. Se toma como la diferencia entre la elevación del punto más bajo en el lecho depósito y el nivel de la cresta del aliviadero

W = Ancho de la superficie del agua en la presa en el nivel de la cresta del aliviadero

T = Es el "retroceso" en el nivel de la cresta del aliviadero (distancia desde la pared de la presa a lo largo del eje de depósito hasta el punto de entrada del río)

Los parámetros K1 y K2, de acuerdo a Lawrence y Cascio (2004) pueden adoptar los valores siguientes:

a) $K_1 = 0.4$ and $K_2 = 1$, (USAID, 1982) y la fórmula se escribe como:

Ecuación 3..... $C = 0.4 * 1 * D * W * T$

b) $K_1 = 0.25$ and $K_2 = 1$, (Fowler, 1977) con la relación de la forma:

Ecuación 4..... $C = 0.25 * 1 * D * W * T$

c) $K_1 = 0.167$ y $K_2 = 1$, se aplica cuando la presa se representa como un prisma triangular:

Ecuación 5..... $C = 0.16 * 1 * D * W * T$

d) $K_1 = 0,22$, y $K_2=1.2$, K_2 se selecciona sobre la base de la sección transversal:

Ecuación 6..... $C = 0.22 * 1.2 * D * W * T$

El volumen también puede estimarse con un simple cálculo (Hudson, 1998) con la ecuación:

Ecuación 7..... $C = (D * W * T)/6$

Donde D = Profundidad de agua

W = Ancho de la presa

T = retroceso

La capacidad del depósito puede ser estimada midiendo el área superficial del espejo del agua y también se considera al depósito como una pirámide cuya base es la superficie del agua, (Figura 1.b). El volumen está dado por la ecuación:

Ecuación 8..... $C = \frac{A \cdot D}{3}$

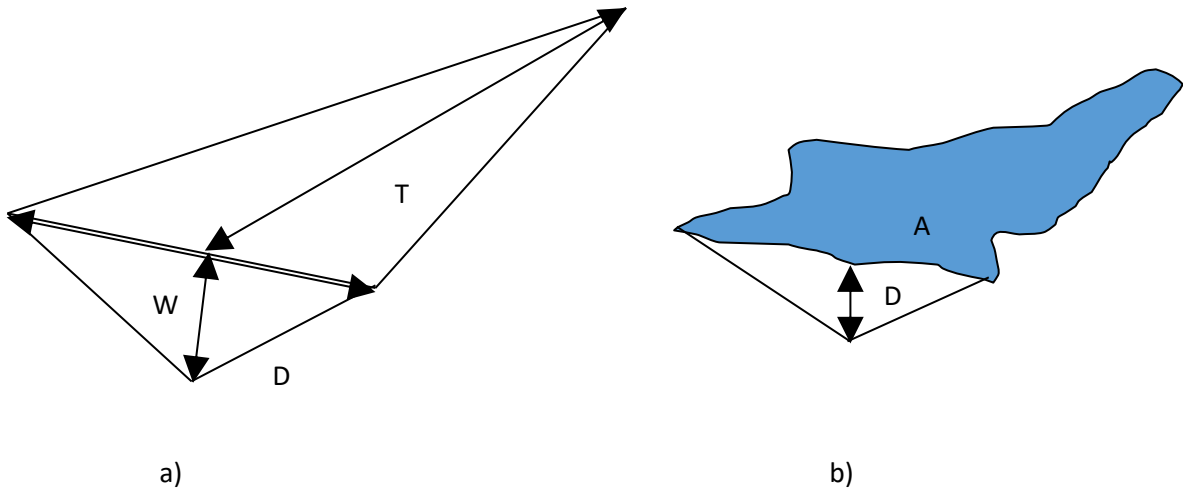


Figura 2. Estimación de la capacidad de almacenamiento de un reservorio.

Los métodos anteriores se utilizan para tener una estimación rápida del volumen captado. Existen métodos más precisos como los que se mencionan a continuación:

Método centro del área. Se asume que las áreas contenidas dentro de los contornos sucesivos representan secciones transversales y que la distancia entre las áreas es pequeña. La relación que se utiliza para obtener el volumen es:

Ecuación 9..... $C = \sum_{i=1}^n \frac{A + A_{i+1}}{2} dh$

Donde C = Capacidad del depósito

A_i = Superficie a equidistancia i

A_{i+1} = Superficie en el siguiente nivel de contorno sobre el nivel del contorno i

Método prismoidal. El espacio encerrado por dos curvas de nivel representa un prisma y, por tanto, el volumen se puede calcular mediante la fórmula:

$$\text{Ecuación 10} \dots\dots\dots C = \sum_{i=1}^n \{dh[A_{i+1} + \sqrt{A_i A_{(i+1)}} + A_{(i+1)}]/3\}$$

Donde C, A y *dh* son la capacidad, A_i y A_{i+1} y *dh*, son los mismos parámetros de la ecuación anterior.

Definición del volumen de agua posible de almacenar. La posibilidad de captar agua en un represo de muchas variables: la pendiente del terreno, que idealmente no debe ser menor de 3 ó 5 por ciento; la precipitación acumulada anual caída en el sitio, el área de captación de aguas y la posibilidad de almacenamiento (Salinas Acosta, 2010). Preliminarmente, se puede determinar el área de captación requerido por una actividad dada mediante la ecuación:

$$\text{Ecuación 11} \dots\dots\dots A = 0.03 U/Pma$$

Dónde:

A, es el área de captación en metros cuadrados

U, es el requerimiento de agua anual en litros

Pma, es la precipitación anual en milímetros

Esta estimación preliminar permite conocer el posible volumen por almacenar para tiempos cortos de uno a tres meses (Frasier & Myers, 1983).

Entonces,

$$\text{Ecuación 12} \dots\dots\dots Vol = E \times Pma \times A$$

Dónde:

E, es la eficiencia de escurrimiento

Pma, es la precipitación anual en metros

A, es el área de captación en metros cuadrados

2.6.2. Métodos Indirectos

Además de los métodos antes mencionados también existen métodos indirectos en los que se requiere estimar áreas de almacenamientos de mapas topográficos o imágenes de satélite y a partir de una relación entre la superficie y la capacidad del embalse, es posible estimar su capacidad de almacenamiento.

El uso de los datos de teledetección y los Sistemas de Información Geográfica son muy utilizados para aplicar este tipo de métodos, una vez determinadas las relaciones entre las áreas, la profundidad y el volumen de los repesos.

Relación área-capacidad

Desde el estudio de Meigh (1995) una relación de potencia entre la capacidad del depósito y su área de superficie medida a partir de mapas topográficos se obtuvo como:

$$\text{Ecuación 13.....} C = 7.381 * \text{Area}^{1.251}$$

$$(R^2 = 93,1\%)$$

Cuando la capacidad es de 1000 m³ y superficie en hectáreas (ha)

La relación establecida por el poder Liebe (2002) entre la capacidad del depósito y su área superficial medida a partir de imágenes satelitales se resume en la ecuación:

$$\text{Ecuación 14.....} C = 0.00857 * \text{Area}^{1.4367}$$

Cuando la capacidad es en área de m³ y superficie en m²

Mitchell (1976) realizó un trabajo en el establecimiento de una relación de poder general entre la capacidad y el área por 12 grandes embalses seleccionados en Zimbabwe a partir de datos de la encuesta detallada. Se usó la relación en el establecimiento de las estimaciones de rendimiento de los grandes embalses. La

relación de potencia viene dada por la siguiente ecuación de regresión lineal obtenida de área de registro / capacidad de registro:

$$\text{Ecuación 15} \dots\dots\dots C = 2.646 * \text{Area}^{1.5}$$

Dónde, área está en hectáreas y el volumen de 10^3 m^3 .

Estudio por Mazvimavi et al. (2004, inédito) sobre la evaluación de los recursos hídricos en Zimbabwe supone que existe una relación de poder-capacidad de área de superficie de un depósito medio o medio que se da por

$$\text{Ecuación 16} \dots\dots\dots C = 0.770 * \text{Area}^{1.299}$$

Donde A = área de superficie (ha) y C es el volumen de almacenamiento (m^3).

La siguiente relación obtenida del trabajo realizado desde la Provincia Oriental de Zambia para calcular áreas de superficie en base a la capacidad de almacenamiento se utiliza para dar estimación de la superficie total de pequeños embalses:

$$\text{Ecuación 17} \dots\dots\dots A = 0.215 * \text{Capacidad}^{0.7401}$$

Dónde Área se encuentra en m^2 y capacidad es en $(1000) \text{ m}^3$

Esto fue así porque los embalses se construyeron para almacenar el agua y sólo sus capacidades se registraron en áreas de base de datos y, por tanto, la superficie original se estima usando la ecuación. En general, se puede observar claramente que las constantes son diferentes para las ecuaciones anteriores debido a las diferentes áreas de estudio y las condiciones y los métodos utilizados para estimar las superficies climáticas, es decir, a partir de mapas topográficos o estudios de campo.

III. Materiales y métodos

3.1. Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en la cuenca del Río San Miguel, subcuenca de la vertiente del Río Sonora, localizada en la porción central del Estado de Sonora. Limita al norte, con las Sierras Azul, El Manzanal, Los Ajos y Buenos Aires; al sur, con la Presa Abelardo L. Rodríguez y Las Sierras Santa Teresa y Mazatán; al oriente, con las Sierras Igualama, Pinta, Verde, El Bellotal y Santa Margarita y, al poniente, con las Sierras Cobriza, Cucurpe, Madera y Méndez.

La corriente principal, identificada como río San Miguel, se clasifica como de régimen intermitente y fluye en dirección ligeramente al sur, recibe en su trayecto las aportaciones de los escurrimientos de las sierras que rodean el cauce principal entre las que se citan la sierra de La Madera al poniente y la sierra Papigochic, sierra San Antonio y sierra Aconchi al oriente, atravesando los poblados de Cucurpe, Opodepe y Rayón. Posteriormente a la última localidad cambia de dirección hacia el suroeste para empezar a salir de la zona serrana hacia la planicie para luego atravesar el pequeño valle de San Miguel de Horcasitas, retomando su curso hasta la estación Zamora, en donde se le incorpora por la margen izquierda el río Zanjón, para, finalmente, descargar sus aguas en la presa Abelardo L. Rodríguez, localizada al oriente de la Ciudad de Hermosillo, Sonora.

La vertiente tiene un área de 3775.2 km², delimitados por un perímetro del parteaguas de 484.5 km, tomando como punto de salida la estación de aforo “El Cajón”. Estos parámetros fueron obtenidos con ArcGIS a partir del continuo de elevaciones mexicano de resolución espacial de 30.0 m por píxel que se ofrece gratuitamente a los usuarios en el portal de INEGI.

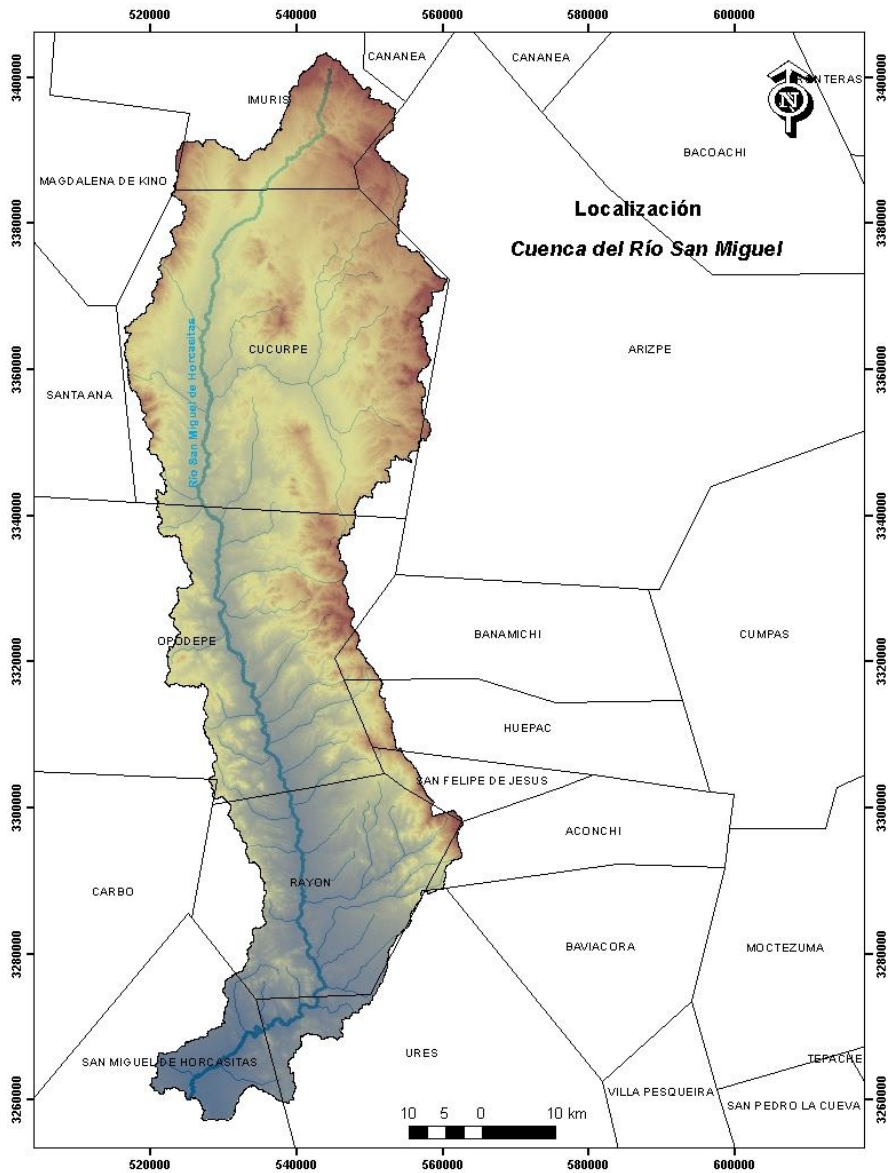


Figura 3. Municipios de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

Actividad socio-económica

La cuenca alberga una población de 13,812 habitantes, distribuida en los municipios de Cucurpe con 965; Opedepe 2,643; Rayón, 1,444 y San Miguel de Horcasitas con 9,081 habitantes (INEGI, 2015).

Las principales actividades económicas en la zona son la agricultura con el 35% de los aprovechamientos, la ganadería, con el 22%, el uso público urbano con un

15% y en menor proporción la minería, la industria y otras actividades. (CONAGUA, 2009).

Las áreas de siembra por municipio son Cucurpe, 549 ha, Opodepe 129 ha, Rayón 1,873 ha y San Miguel de Horcasitas 3,708 ha (INEGI, 2011) que tienen como principal fuente de abastecimiento al acuífero del Río San Miguel, del que se riegan parcelas de pequeños propietarios y ejidatarios.

3.1.1. Clima

En la vertiente, de acuerdo a la carta de clima de INEGI (2010), se identifica una amplia variedad de climas, que van de muy secos y secos a semisecos (figura 4).

Se consideran climas de transición entre los secos y los templados y se dividen en función de su temperatura media anual en cálidos, semicálidos y templados. Ocupan la parte alta de la cuenca.

Estudios de CONAGUA (2009) determinaron que la temperatura media anual en el área de estudio varía de unos 17°C en la cabecera de la Cuenca del Río Sonora, a unos 24° C en las inmediaciones de la Ciudad de Hermosillo. Las temperaturas más bajas corresponden a las zonas montañosas y las más altas a la zona de planicie en la Mesa del Seri.

Precipitación

En la región predominan dos períodos de lluvia: de invierno y de verano. En la primera, predomina el tipo de precipitación frontal, caracterizado por su baja intensidad, larga duración y amplia cobertura espacial. En la segunda, el mecanismo causante de la precipitación es el Monzón de Norteamérica (NAM) o Monzón Mexicano, que aporta la mayor parte de la precipitación en la zona de estudio.

Este fenómeno climatológico provoca el ingreso de humedad oceánica a la zona, que durante los meses de junio, julio, agosto y parte de septiembre, ponen en

marcha un mecanismo de precipitación predominantemente de tipo convectiva, que en las partes altas se combina con precipitación de tipo orográfica. En esta temporada se tienen el mayor escurrimiento en el Río San Miguel figura 5.

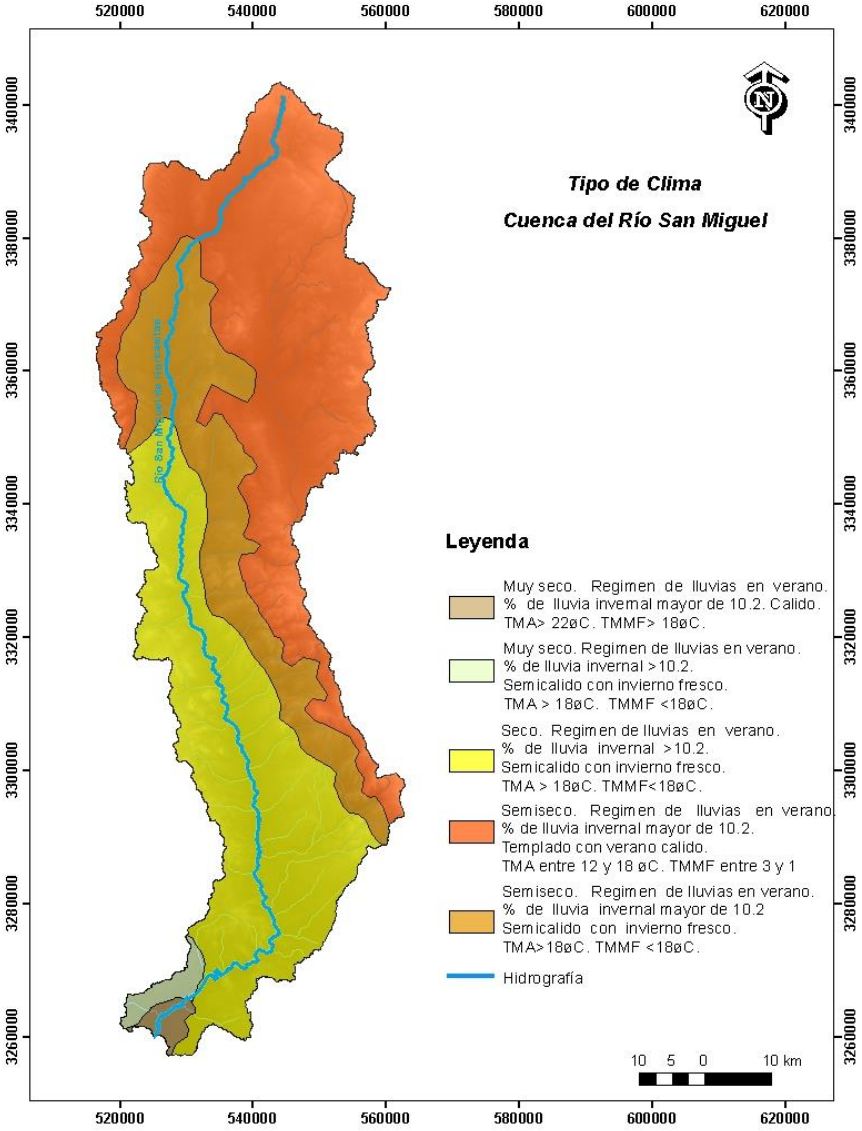


Figura 4. Clima en la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

De acuerdo con los datos del Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones Meresichic, Opodepe, Rayón y El Cajón, la precipitación media anual en la cuenca es de 420.4 mm.



Figura 5. Río San Miguel en la parte media de la cuenca.

3.1.2. Evaporación

En las estaciones climatológicas del área de estudio, por lo general, no se mide la evaporación, pero de acuerdo con la información disponible en estudios de CONAGUA se ha estimado que la evaporación potencial es de aproximadamente 2400 mm/año.

3.1.3. Fisiografía

Estudios realizados en la zona por la CONAGUA (2002) determinaron que se presentan grandes fallas longitudinales que dieron lugar a la formación de los valles en la porción norte central de la entidad y existen algunas secundarias de dirección Este-Oeste que tienen su mayor expresión en la cuenca del Río Sonora que propician los estrechamientos y controlan el sistema de drenaje de muchos arroyos y el propio cauce del Río San Miguel.

En conjunto, las principales formas morfológicas que se encuentran expuestas en el área de estudio están representadas por valles, sierras y terrazas. Los valles están constituidos por materiales de relleno Terciarios y Cuaternarios; las sierras

por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y metamórficas y las terrazas por los conglomerados de la Formación Báucarit.

Marco geológico y suelos

Estudios llevados a cabo en la cuenca del Río San Miguel, afirman que acontecieron varios eventos geológicos que dieron lugar a una diversidad de unidades litológicas, que por medio de los procesos endógenos y de los procesos exógenos como la erosión y el depósito sedimentario, modelaron el paisaje con el paso del tiempo. En la vertiente destaca la Formación Baucarit en la fase temprana, principalmente en las partes bajas del Río San Miguel y una sedimentación horizontal en la fase tardía, sin apreciables fallas.

La mayor parte de los cortes litológicos de pozos se encuentran concentrados en la parte baja de las subcuencas de los ríos San Miguel y Zanjón y principalmente en los alrededores de la población de Pesqueira, municipio de San Miguel de Horcasitas, Sonora.

En la cuenca del Río San Miguel subyace un acuífero de tipo libre, con fronteras laterales formadas por rocas ígneas intrusivas del tipo granítico y extrusivas del tipo riolítico y andesítico. El acuífero está contenido en un medio poroso permeable, constituido de boleos, gravas y arenas no consolidados, restringidos a los cauces del río y arroyos tributarios. Presenta buena porosidad granular debido a que los sedimentos tienen buena permeabilidad.

Las provincias hidrogeológicas consideran las propiedades hidráulicas de los materiales (permeabilidad, conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, porosidad, entre otras) (CONAGUA, 2009)

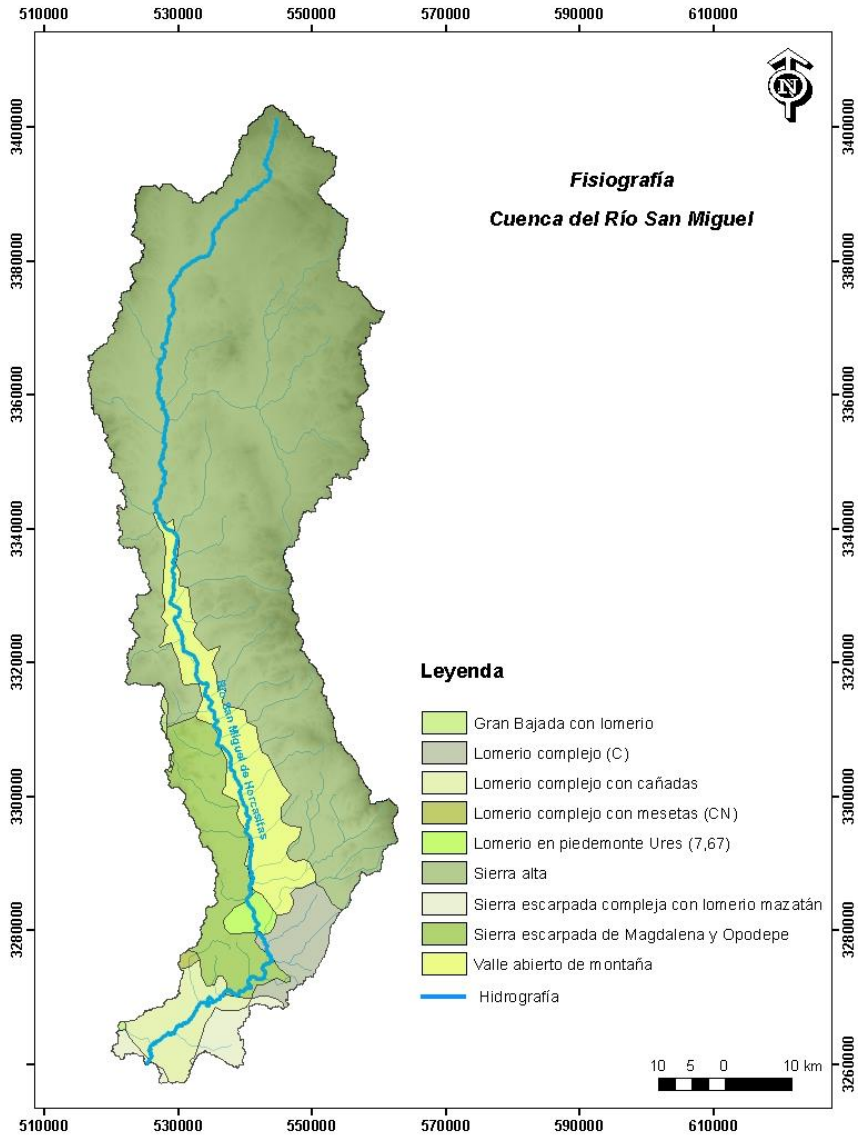


Figura 6. Fisiografía de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

3.1.4. Estratigrafía

A continuación se describe la estratigrafía de acuerdo a estudios realizados por CONAGUA en 2002 y publicados en el Diario Oficial de la Federación en 2009 los cortes litológicos, obtenidos de pozos, se encuentran concentrados en la parte baja de las subcuencas de los ríos San Miguel y Zanjón y principalmente en los alrededores de la población de Pesqueira, Sonora.

Paleozoico. En el área de estudio, las rocas más antiguas corresponden al Paleozoico. Se encuentran cubiertas por depósitos más jóvenes o muy erosionados, por lo que sus afloramientos se encuentran distribuidos en poca proporción con respecto a la columna geológica del área. Tienen su mayor extensión en el borde norte de la cuenca y en una línea de dirección predominante norte-sur, siguiendo aproximadamente el cauce del Río San Miguel. Es probable que esta alineación haya sido causada por los movimientos originados hacia fines del Mesozoico y principios del Terciario, que elevaron el bloque tectónico sobre el que yacían estos afloramientos, por lo que actualmente se hallan expuestos sobre una traza de falla. Estas rocas son de naturaleza impermeable.

Mesozoico. Este tipo de rocas tiene una distribución muy limitada en la cuenca. Sobreyacen a las rocas del Paleozoico. Están representadas por sedimentos clásticos del Grupo Barranca, con edades que han sido asignadas al Triásico y por calizas y areniscas del Cretácico Inferior. En la porción noreste de la cuenca se tienen expuestos afloramientos de rocas triásicas y los del Cretácico Medio en la parte sur. La aparición de rocas plutónicas se dio a fines del Periodo Cretácico y consisten en granitos y granodioritas que intrusionaron a las rocas paleozoicas y a las correspondientes de la parte inferior y media del Mesozoico. Estas masas intrusivas predominan en el área, sobre todo en la parte oriental y central, formando cadenas montañosas. Sobre estas rocas se depositó una gran columna de sedimentos Cenozoicos y constituyen el basamento geológico regional. Debido al peso ejercido sobre ellas, se transformaron notablemente sus propiedades físicas, anulando prácticamente la permeabilidad intersticial de los sedimentos y sellando las fracturas de los granitos y calizas.

Cenozoico (Terciario). En el área de estudio, las rocas del Cenozoico son las que tienen mayor distribución horizontal, debido a que las rocas sedimentarias y volcánicas cubren aproximadamente dos tercios de la superficie de la cuenca. Las rocas volcánicas están compuestas por emisiones lávicas de naturaleza ácida e intermedia como riolitas y andesitas. Casi contemporáneo con estas emisiones lávicas, están los piroclastos finos que formaron las tobas volcánicas que afloran

al norte de la cuenca. Dentro del grupo de rocas cenozoicas, específicamente de la época Terciaria, se encuentran expuestos enormes espesores de conglomerados continentales de la Formación Baúcarit, nombrada así por King en 1939 y quién distinguió dos miembros en esta unidad: el superior, que consiste de arenas, arcillas y conglomerados poco consolidados y el inferior, que se compone de conglomerados bien consolidados.

Cenozoico (Cuaternario). Los depósitos aluviales y fluviales se encuentran sobreyaciendo a los conglomerados de la Formación Báucarit del cuaternario, formados por boleos, gravas, arenas, arcillas y limos. Su distribución horizontal es muy reducida, limitada a las zonas de los cauces de los ríos y arroyos y a sus planicies de inundación. Estos materiales constituyen un acuífero libre de alta transmisividad y de altos valores de caudales específicos, donde quedan alojadas la mayor parte de las obras de explotación de aguas subterráneas de la cuenca estudiada. El Acuífero del Río San Miguel es del tipo libre, con fronteras laterales compuestas por rocas ígneas intrusivas del tipo granítico y extrusivas del tipo riolítico y andesítico; el acuífero está constituido de boleos, gravas y arenas, no consolidados, restringidos a los cauces del río y arroyos tributarios (CONAGUA, 2009).

Formación de la cuenca

De acuerdo a estudios realizados por CONAGUA en 2002 y publicados en el Diario Oficial de la Federación en 2009, la génesis geológica de la cuenca puede describirse como sigue:

Hacia fines del Cretácico y hasta principios del Terciario, el paisaje geológico de la zona estaba conformado por enormes plegamientos de rocas Paleozoicas, Triásicas y Cretácicas, que se extendían hacia el oriente, hasta la cuenca de Chihuahua. En esa misma época, la Orogenia Laramide con su fase compresiva, dio origen a un proceso de ruptura en bloques que debilitó la corteza terrestre, permitiendo la intrusión de enormes masas de rocas graníticas que levantaron los bloques fallados.

Grietas producidas por la deformación de la corteza terrestre, constituyeron un ducto que dio salida a emisiones de lavas riolíticas y andesíticas que cubrieron extensas superficies.

Después, se inició una etapa de erosión, que acumuló en las fosas tectónicas y sobre las tierras menos elevadas grandes espesores de conglomerados, arenas y arcillas que componen la parte inferior de la Formación Báucarit. Con un nuevo movimiento tectónico, se forma el “graben” o depresión de la subcuenca del Río Zanjón y los bajos tectónicos de los ríos San Miguel y Sonora.

Una última etapa del proceso geológico, está formada por un nuevo ciclo de erosión, cuyo mayor desarrollo se ubica dentro del Terciario que se depositó en la parte superior de la Formación Báucari (CONAGUA, 2009).

De acuerdo a la cartografía del INEGI, la Cuenca del Río San Miguel aloja diferentes tipos de suelos, como se describe a continuación:

Suelos de textura gruesa. Se caracterizan por ser muy delgados con velocidades de infiltración altas.

Suelos de textura media. Tienen velocidades moderadas de infiltración.

Suelos de textura fina. Son delgados, limitados por roca, tienen muy bajas velocidades de infiltración.

Suelos de textura muy fina. Se caracterizan por sus velocidades muy bajas, casi nulas de infiltración.

Los tipos de suelos dependen de la Geología y de la morfología de la cuenca, entre otros factores. Su descripción detallada se hace a continuación.

Feozem. Suelos de textura media con capa superficial oscura, suave, se caracteriza por su gran contenido de materia orgánica y de nutrientes. Se localiza en las llanuras de inundación del Río San Miguel, en la parte baja de la cuenca y en la parte alta en los alrededores de Cucurpe.

Fluvisol. Suelos de textura gruesa, representativos de las llanuras de inundación de la parte media del Río San Miguel.

Litosol. Se localizan principalmente en las partes más elevadas o en las zonas de la sierra de la cuenca.

Regosol. Es el tipo de suelo dominante en la Cuenca del Río San Miguel, con cerca del 31% de la superficie del área de estudio. Es de textura gruesa.

Xerosol. Presenta una capa superficial de color, de textura media y pobre en humus y se localizan en las zonas de lomerío.

Yermosol. Ocupa cerca del 2% de la superficie del área de estudio. Los suelos de esta unidad presentan una capa superficial de textura gruesa, de color claro y muy pobre en humus. Se distinguen de los Xerosoles por presentar capas de textura más gruesa. El origen de estos suelos parece estar asociado a depósitos eólicos. Los Yermosoles se encuentran asociados principalmente a materiales de aluvión del Cuaternario.

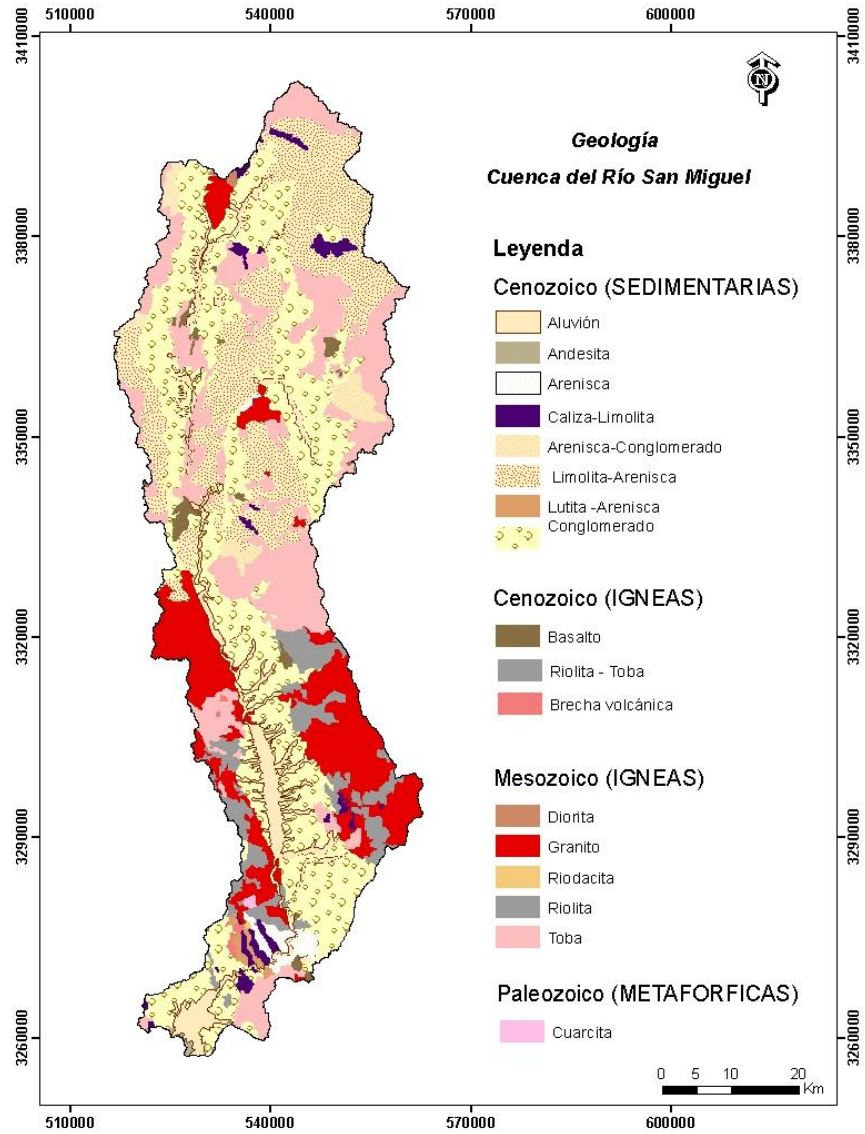


Figura 7. Geología de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

3.1.5. Hidrografía

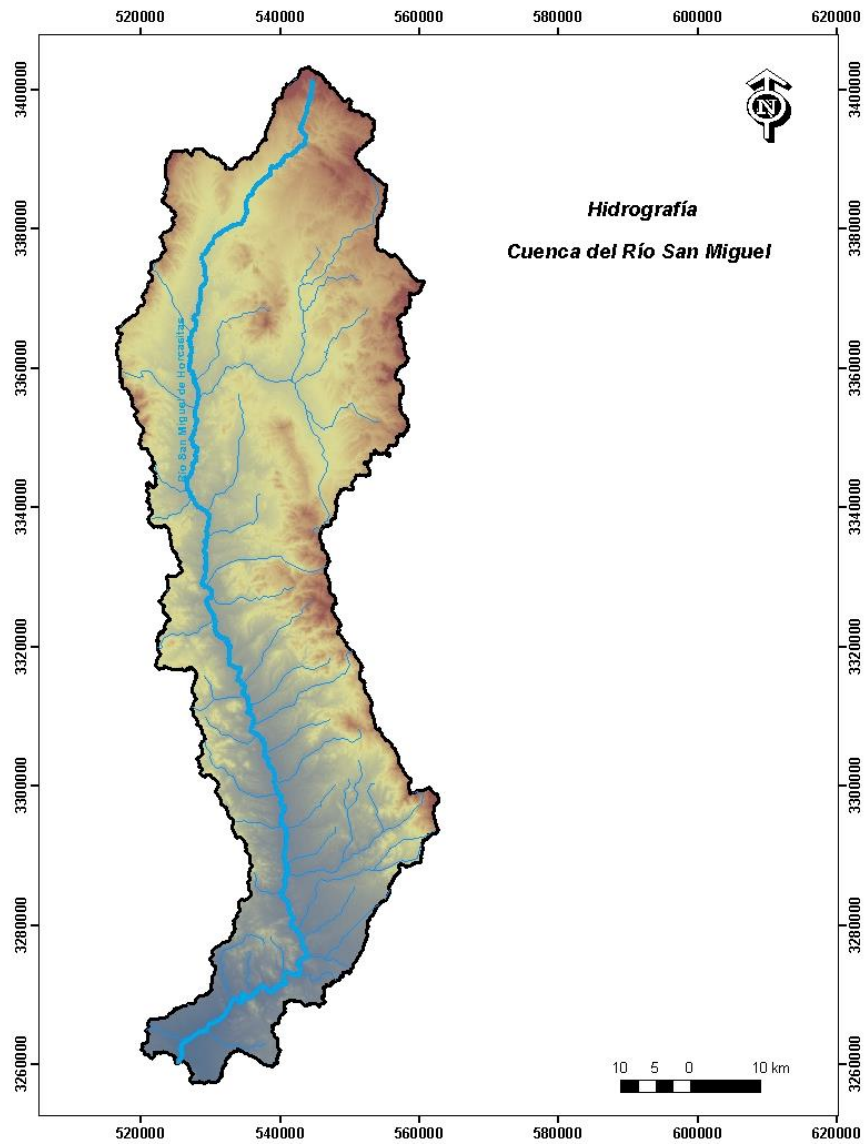


Figura 8. Hidrografía de la CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

El rasgo hidrográfico (Figura 8) más notable de esta región es el Río Sonora, originado en la Sierra de Cananea, el cual recorre 269 kilómetros hasta verter sus aguas en la Presa El Molinito, donde 20 km aguas abajo se le une el Río San Miguel, para descargar sus volúmenes en la Presa Abelardo L. Rodríguez. Durante su desarrollo, el Río San Miguel conserva una pendiente suave y

dirección predominantemente Norte-Sur hasta Rancho de Aguilar, donde cambia su rumbo al Suroeste para llegar a la Ciudad de Hermosillo.

Dentro de la subcuenca del Río San Miguel opera la estación hidrométrica El Cajón, localizada 2.0 km. aguas abajo del Poblado San Miguel de Horcasitas y a 58 km aguas arriba del vaso de la Presa Abelardo L. Rodríguez.

3.1.6. Uso de Suelos y Vegetación

La cobertura vegetal es un factor condicionante del Ciclo Hidrológico. Determina el escurrimiento, la infiltración y la evapotranspiración entre otros procesos hidrológicos, por lo que es un factor relevante para el desarrollo de esta tesis.

La Cuenca del Río San Miguel es rica en variedad de especies de vegetación desértica figuras 9 y 10. En la parte alta al Noreste predomina el bosque de encino y pastizal natural, en la porción media al Norte destaca el matorral desértico micrófilo y en la parte baja abunda el matorral subtropical. En la parte sur de la cuenca en menor proporción se encuentra Mezquital Xerófilo y bosque de mezquite.



Figura 9. Tipo de vegetación en la CRSM.



Figura 10. Tipo de vegetación en la CRSM.

La vegetación en la vertiente sufre un drástico cambio de la temporada seca a la temporada de lluvias (Figura 11 y Figura 12), por efecto del fenómeno climatológico conocido como Monzón de Norteamérica, responsable de la entrada de humedad proveniente del Océano Pacífico que impacta significativamente cada año el comportamiento hidrológico de la vertiente.

En la cuenca Figura 9 y 10 se pueden encontrar diferentes especies vegetales que se enmarcan dentro de las clases: matorral subtropical, matorral desértico y bosque de encino, que son representativas de la cuenca y de gran parte de la región noroeste de México.



Figura 11. Estado de la vegetación antes del Monzón de Norteamérica.



Figura 12. Estado de la vegetación después del Monzón de Norteamérica.

Matorral subtropical

Consisten en matorrales que alcanza una altura del dosel entre 2 a 8 m. Usualmente se encuentran en las laderas de la zona montañosa de la cuenca. En terrenos con una altitud entre 300 y 1,500 m, en climas muy secos semicálidos con temperaturas medias anuales entre 20 y 24° C y precipitación total anual por debajo de 400 mm; así mismo y en climas secos semicálidos y semisecos, semicálidos y templados con temperaturas medias anuales entre 17 y 21° C y precipitación total anual entre 300 y 500 mm. Los suelos que lo sustentan son yermosoles, regosoles, litosoles, feozems y fluvisoles. Las principales plantas representativas de esta clasificación son *Fouquieria macdougalii*, *Guaiacum coulteri*, *Stenocereus thurberi*, *Caesalpinia pulcherrinia*, *Peniocereus striatus*.

Fouquieria macdougalii. Conocida en el área como Ocotillo macho o árbol de Ocotillo, es una especie dominante en el matorral subtropical. Se encuentra en laderas de cerros y arroyos y es considerado arbusto o árbol de hasta 5 m de altura; pasa la mayor parte del año sin hoja y sin su característica flor roja, generalmente vista en la temporada de lluvias.

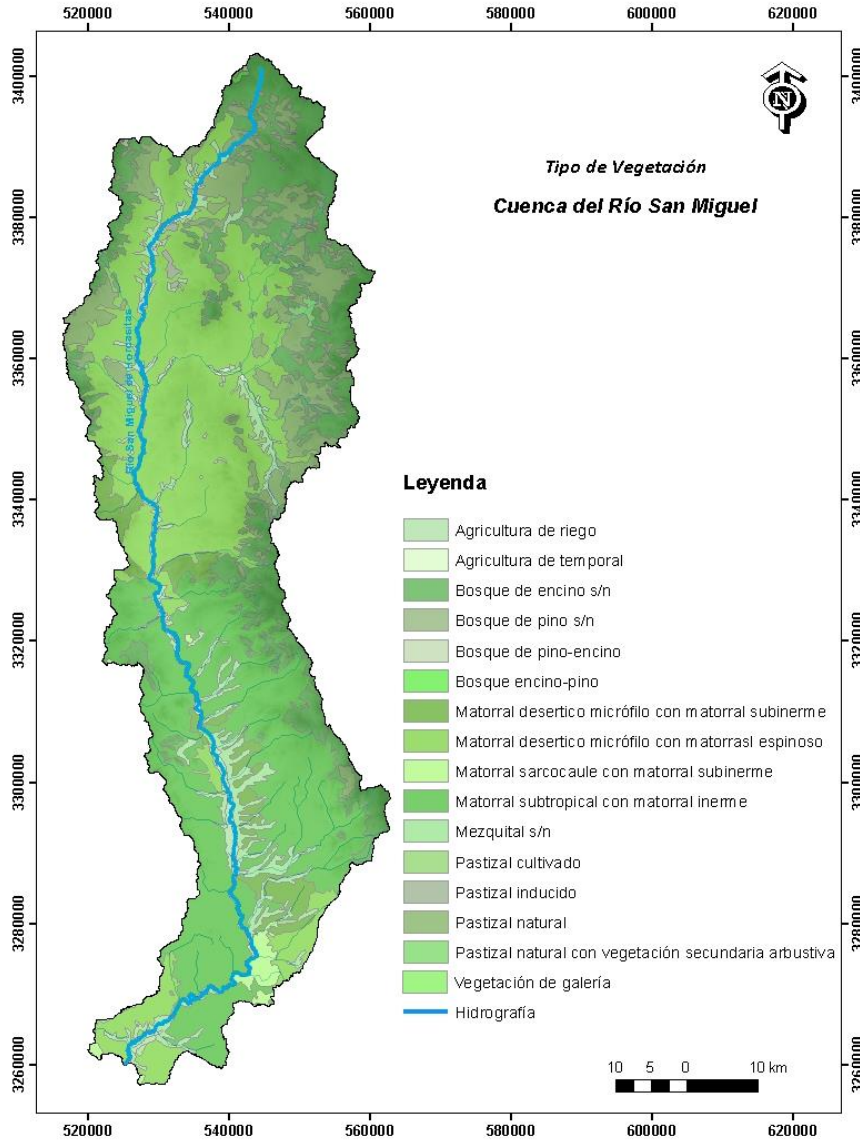


Figura 13. Tipo de Vegetación CRSM, Sonora (INEGI, 2010).

Acacia cochliacantha. La familia fue clasificada como leguminosa por su fruto, que en la mayoría de las especies es una leguminosa. Requiere de grandes cantidades de minerales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Guaiacum coulteri. Próxima a la vegetación de galería se encuentra a 400 m.s.n.m. Es un árbol pequeño y denso en temporada de precipitaciones, con flores color azul brillante y que responde rápidamente a la lluvia.

Stenocereus thurberi. Conocida como pitahaya puede medir más de 10 m de altura. Es considerada un ejemplar típico y muy valioso en Sonora.

Cercidium praecox. Conocida como palo verde, siendo este color su principal característica, con flores amarillas brillantes que emiten un olor atractivo para los insectos. Es común encontrarlo en la parte baja de la Cuenca del Río San Miguel.

Prosopis velutina. Conocida comúnmente como mezquite, es un árbol mediano bien adaptado al desierto de Sonora, puede crecer 10 m de altura o más. Al contrario del palo verde este árbol se protege de los insectos lo que lo hace muy resistente a las plagas.

Matorral desértico

Carnegiea gigantea. Conocido como saguaro o sahuaro, se encuentra desde los 50 a los 1000 m.s.n.m. Se considera un símbolo del desierto de Sonora debido a su majestuoso porte, comúnmente alcanzando 12 o más metros de altura, sin embargo, tiene un crecimiento lento, por lo que es una especie protegida por las autoridades.

Fouquieria splendens. Conocida como ocotillo, es un matorral espinoso que en tiempo de lluvias, se cubre de hojas que permanecen durante la temporada.

Mammillaria grahamii. Conocida comúnmente como cabeza de viejo, florece en temporada de lluvias, con brillantes flores de color rosa pálido; se puede encontrar en colinas y laderas a una altitud entre 150 a 600 m.s.n.m. Son de las más pequeñas y abundantes de su especie.

Opuntia robusta. Conocida como Nopal, es común encontrarlo en las partes altas de la cuenca y crece de 1.0 a 1.5 m de alto. Se ramifica desde la base con areolas ovaladas con espinas. Florece y da frutos con la llegada de las precipitaciones de verano.

Opuntia fulgida. Se le conoce comúnmente como choya y se encuentra a una altura de 300 a 1000 m.s.n.m., los tallos son de color verde claro con espinas. Las ramas jóvenes, como se aprecia en la figura 11, están cubiertas por espinas de un color más amarillo de 2 a 3 cm que oscurecen con la edad.

Bosque de Encino y pasto.

Contrastando con la vegetación de la parte baja y media de la cuenca, en la porción norte y oriente del área, se tiene la presencia de bosque, donde predominan las especies siguientes:

Quercus chihuahuensis. Conocida como encino, crece hasta 10 m de altura y se encuentra en la parte alta de la cuenca, arriba de los 1000 m.s.n.m.

Palo blanco se encuentra en la parte de la cuenca y su principal característica es el color blanco de su tronco.

La vegetación en la cuenca es un recurso invaluable, aprovechado para actividades económicas que soportan el desarrollo de la región.

3.1.7. Agua Subterránea

El Acuífero del Río San Miguel es del tipo libre, cuyas fronteras laterales corresponden a rocas ígneas intrusivas del tipo granítico y extrusivas del tipo riolítico y andesítico; el acuífero está contenido en un medio poroso y permeable, constituido de boleos, gravas y arenas, no consolidados, restringidos a los cauces del río y arroyos tributarios, presentan buena porosidad granular y por tanto son sedimentos regularmente de buena permeabilidad y más aún cuando presentan buena clasificación. Estos sedimentos constituyen actualmente el acuífero de la localidad (CONAGUA, 2002).

En las partes altas y profundas de los rellenos, el Acuífero del Río San Miguel, está contenido en rocas extrusivas fracturadas del tipo riolítico. En algunos pozos perforados en esta unidad litológica, se han encontrado aguas con temperatura

anormal (superiores a 35 °C), por lo que se les atribuye en cierta forma que son las causantes de transmitir la alta temperatura a las aguas subterráneas. Estos casos se presentan en áreas del Cerro Pelón, Ejido San Miguel de Horcasitas, Fábrica de los Ángeles y en las estribaciones de la Sierra de San Miguel.

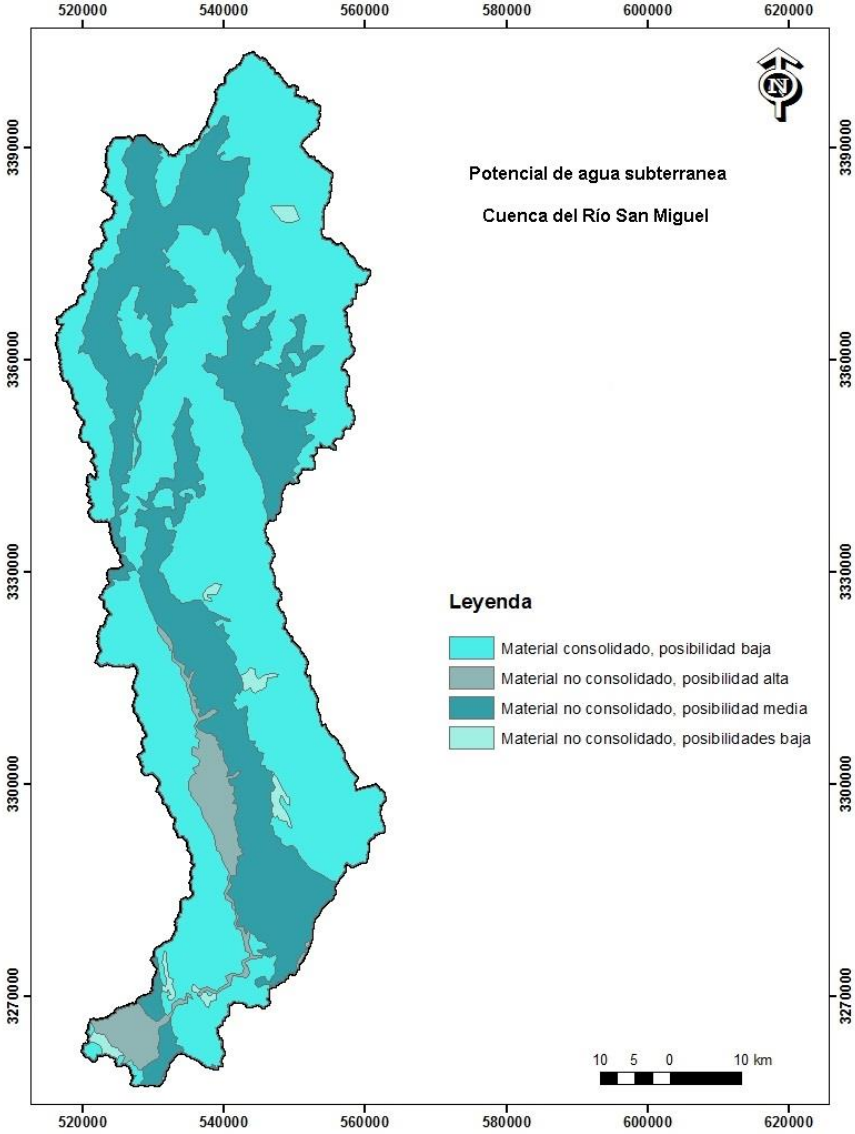


Figura 14. Geohidrología en la CRSM, Sonora (INEGI, 2010)

La profundidad del basamento impermeable varía desde unos 15 m en los estrechamientos del cauce, hasta más de 200 m en las partes bajas del acuífero.

En la Cuenca del Río San Miguel se realizaron algunas pruebas de bombeo para conocer la transmisividad, la cual fue calculada entre 0.0001 y 0.072 m²/s. La interpretación de estas pruebas fue mediante el método de Jacob, Hantush y Papadopulos (CONAGUA, 2002).

3.1.8. Demografía

La cuenca de Río San Miguel se encuentra en las poblaciones de Arizpe, Banámichi, Cucurpe, Huépac, Imuris, Opodepe, Rayón, San Felipe de Jesús, San Miguel de Horcasitas y Ures, así como poblaciones menores como La Estancia, Ranchito de Huépac, San José de Baviácora, Mazocahui, San Pedro de Ures, San José de Ures, Topahue y Molino de Camou. La población global se calcula en 39,758 habitantes, según cifras del INEGI del año 2015.

Los poblados más importantes en la Cuenca del Río San Miguel son Cucurpe, Opodepe, Rayón y San Miguel de Horcasitas con una población total de 14,133 habitantes.

3.2. Equipo y programas informáticos

Computadoras de Escritorios. Se utilizaron 3 computadoras LENOVO all in one con procesador I7, H.D. 1 TB, 8 Gb de RAM para crear la base de datos en ArcGIS, hacer el procesamiento digital de imágenes e identificar repesos en Google Earth.

Computadora portátil. Se utilizó una computadora Toshiba Satellite 4 Gb RAM, disco duro 500 Mb y procesador i4. Se realizaron análisis de información topográfica y se generó información vectorial y ráster para alimentar la base de datos geográfica.

Impresora Láser a color. Se imprimieron los productos obtenidos en la tesis.

Sistema de posicionamiento Global. Se utilizó un GPS de doble frecuencia Magellan ProMARK 3.

Estación total SOKKIA.

Imágenes satelitales. Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 5 y Landsat 8 que cubren el área de estudio.

Información

Datos de la CONAGUA

Se utilizaron estudios realizados por CONAGUA para establecer parámetros climáticos y fisiográficos de la cuenca de estudio y para comparación con los resultados obtenidos en la tesis.

Cartografía de INEGI

Se utilizó la cartografía temática de INEGI referente a Geología, Clima, Uso de suelo y vegetación, Fisiografía y Aguas subterráneas y los modelos digitales de terreno de 30 m y de 15 m de resolución espacial.

Imágenes digitales

Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 y Landsat 8 que fueron procesadas con el sistema informático LeoWorks de la Agencia Espacial Europea.

3.3. Metodología

La metodología aplicada en la tesis se divide en tres apartados. El primero, trata sobre el procedimiento de identificación y conteo de los repesos localizados en la cuenca del Río San Miguel, el segundo, donde se presenta el procedimiento para determinar el volumen medio de los almacenamientos y el tercero, donde se analiza la fisiografía de las subcuencas de los repesos.

El elemento sustancial para el procedimiento, lo constituyó una base de datos integrada con los modelos digitales del terreno de INEGI de 30 y 15 m de resolución espacial a la que se agregó la información oficial, específicamente la contenida en la cartografía topográfica escala 1:50,000 de INEGI de la zona de

estudio. También se analizaron imágenes satelitales del sistema LANDSAT 5 y LANDSAT 8 y se realizó una búsqueda sistemática en Google Earth.

3.3.1. Identificación y conteo de los repesos

En el diagrama de flujo de la figura 15 se muestra el procedimiento para identificar y contar los repesos existentes en la vertiente y cada paso se describe a continuación.

Conteo en el REPDA

En el REPDA no se encontró información sobre los repesos existentes en la cuenca de estudio; sin embargo, debido que como lo establece la LAN, todos los repesos, captaciones y obras de explotación del recurso hídrico, deben estar contenidos en este registro oficial, su búsqueda en esta base de datos se incluye en el procedimiento de identificación y actualización de la base de datos de los repesos. Como resultado de este proceso se creó el archivo shape **R_REPDA.SHP**.

Conteo en cartografía topográfica de INEGI

La superficie de la cuenca está cubierta por las cartas topográficas escala 1:50,000 H12B61, H12B71, H12B81, H12D11, H12D21, H12D31, H12B62, H12B72, H12B82, H12D12, H12D22 y H12D32, editadas por INEGI. Con la versión digital vectorial, se elaboró un mosaico y un archivo en formato *shape* para integrarlo a la base de datos de ArcGIS. Esta cartografía, además de la topografía y el drenaje de la zona, proporciona también los contornos de los repesos identificados en la zona en el período de elaboración de la cartografía.

En la figura 16 se muestra una porción de la carta de INEGI mostrando los contornos de los repesos.

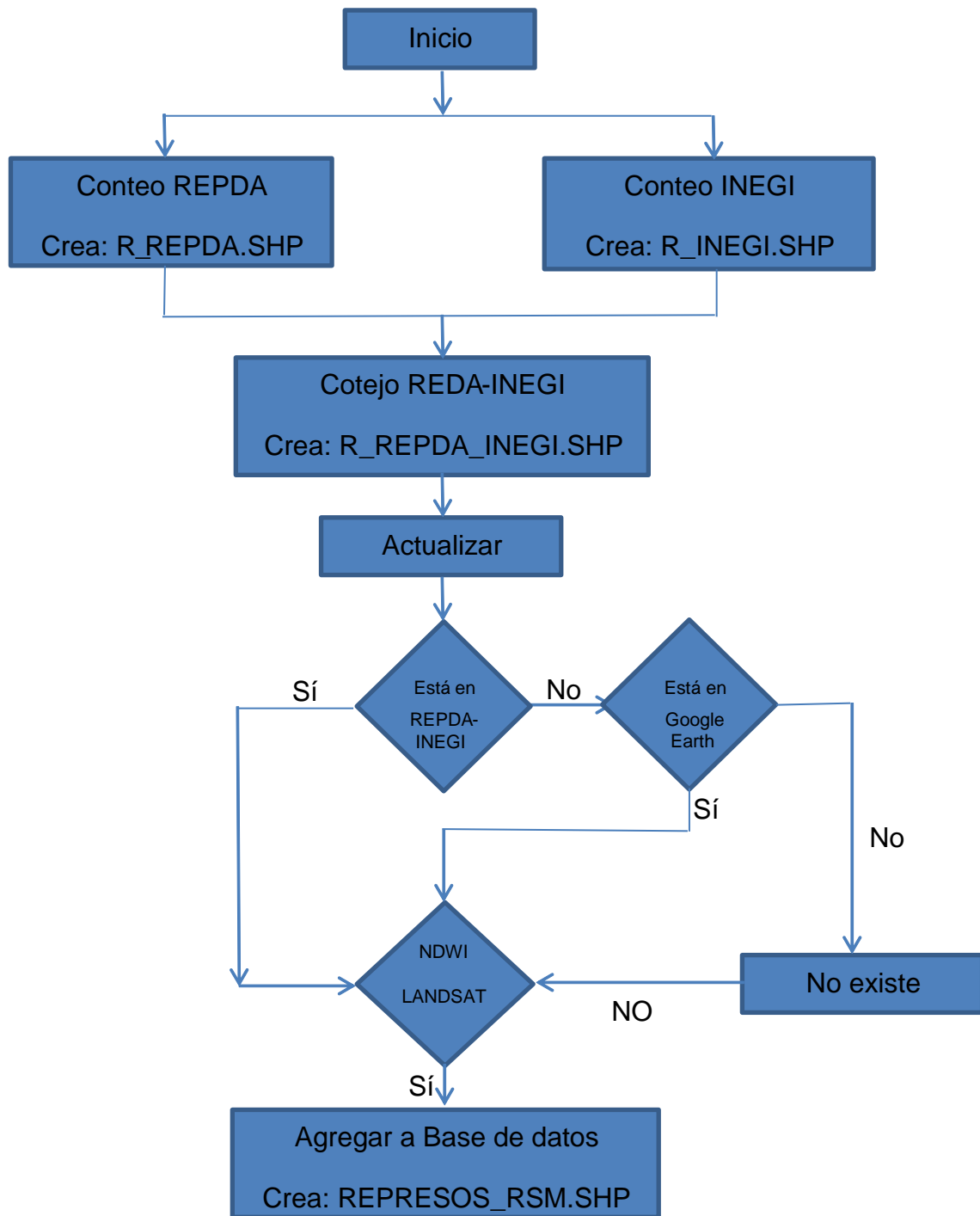


Figura 15. Diagrama de flujo del procedimiento de conteo de repesos.

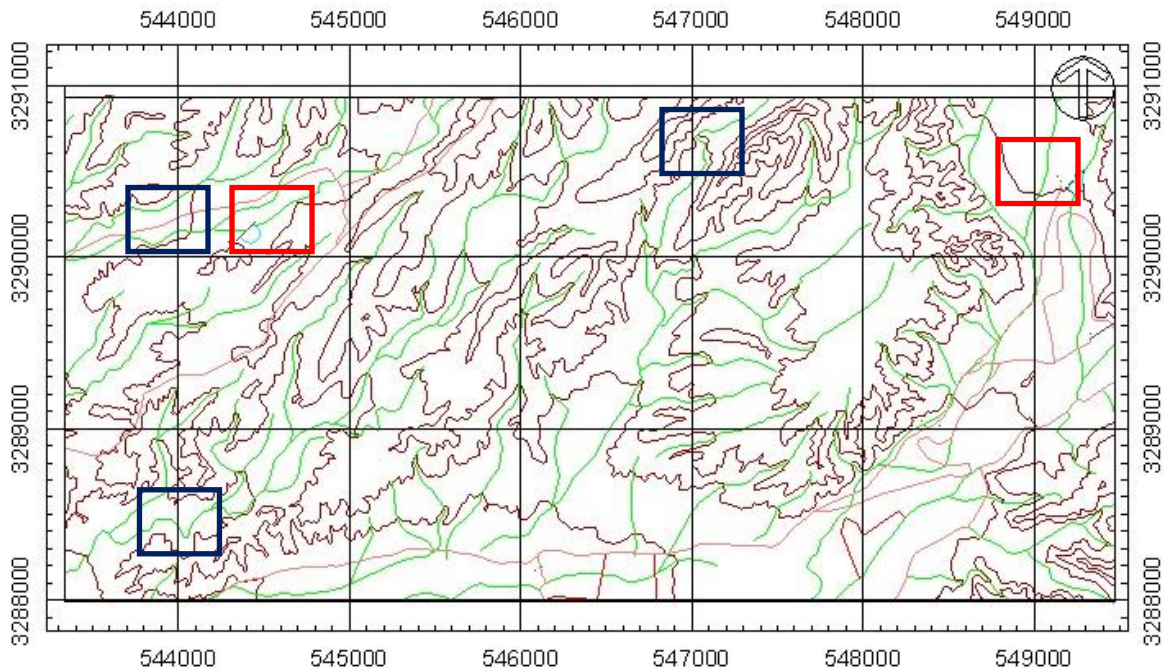


Figura 16. Carta vectorizada INEGI

A cada polígono representativo de un repeso, se le asignó un identificador y se obtuvo el total de almacenamientos distribuidos dentro de la cuenca de estudio.

El producto resultante fue el archivo shape: ***R_INEGI.SHP***

Cotejo de información del REPDA e INEGI

Los resultados obtenidos a partir del REPDA se compararon con los de la cartografía de INEGI y se complementaron, dando como resultado un solo archivo con **toda la información oficial disponible sobre los repesos** en la cuenca del Río San Miguel, Sonora.

El resultado fue el archivo shape: ***R_REPDA_INEGI.SHP***

Actualización de la base de datos

El archivo ***R_REPDA_INEGI.SHP*** representa la distribución espacial de los repesos oficialmente registrados y disponible para los usuarios; sin embargo, en recorridos en campo y en el sistema informático en línea *Google Earth*, se pudo

constatar que existen repesos que no están registrados ni en el REPDA ni en la cartografía de INEGI, por lo que, si se desea saber cuántos repesos existen en la cuenca del Río San Miguel, Sonora, es necesario hacer un conteo sistematizado.

El procedimiento para actualizar el registro, consistió en verificar que cada repeso del REPDA (archivo R_REPDA.SHP) estuviera en la imagen del NDWI obtenida con imágenes LANDSAT y si se encuentra allí, se agregaba a la base de datos; en caso contrario, se buscaba en Google Earth, si se encuentra en el sistema en línea, se verifica que esté en NDWI y si el resultado es positivo, el repeso se agrega a la base de datos. Si no se encuentra, se establece que el repeso no existe.

Algún repeso podría estar en Google Earth y en el REPDA, pero si no se encuentra en NDWI, significa que el repeso ya no existe y no se incluye en la base de datos.

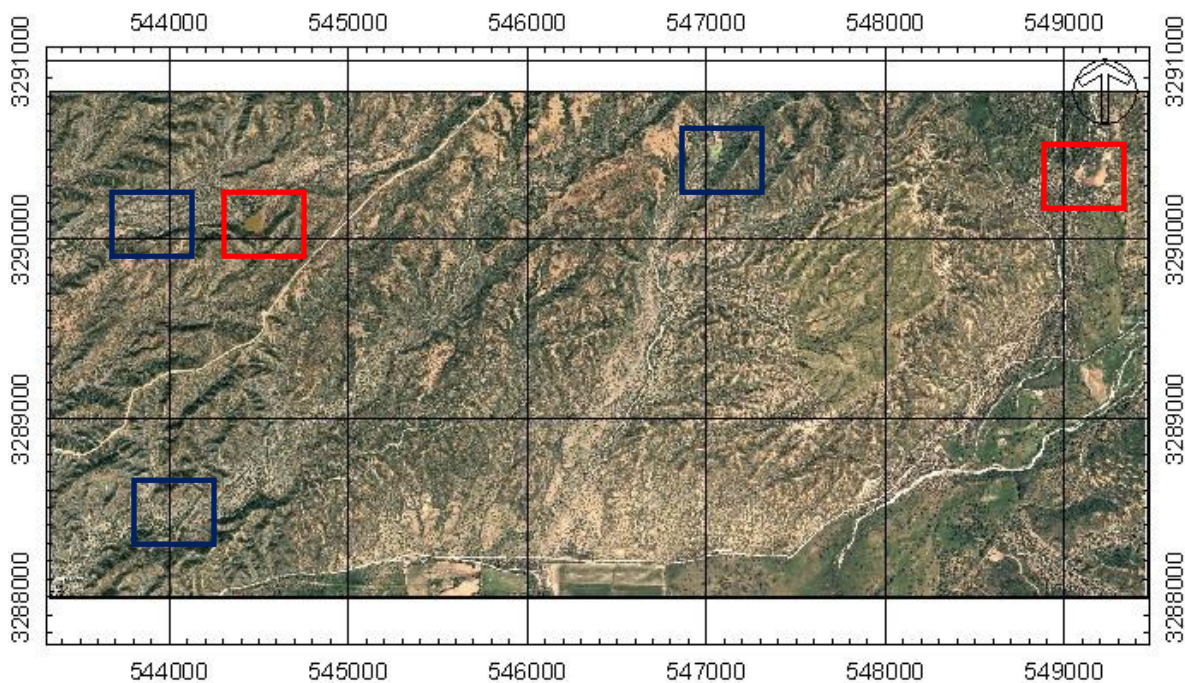


Figura 17. Imagen de Google Earth

El proceso de búsqueda en Google Earth requirió de un equipo de apoyo integrado por seis estudiantes a quienes se les asignaron cuadrantes de una malla de 5 km x 5 km que se superpuso a la imagen de Google Earth cubriendo la zona de estudio en la que se ubicaron los repesos. En la figura 15 se muestra la porción de la imagen de Google Earth en la que se localizan los repesos identificados en la cartografía topográfica.

Para la elaboración de las imágenes de NDWI se utilizaron imágenes de los sistemas satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8 que se procesaron en LEOWORKS para obtener como producto la distribución espacial de los repesos en la cuenca, lo cual sirvió como apoyo para el conteo de repesos, sobre todo ante la incertidumbre por sombras, cobertura vegetal y topografía del terreno, en lo que también fueron muy importantes el análisis de la hidrografía de la carta topográfica y el drenaje obtenido con el modelo digital de INEGI.

En las imágenes 18,19 y 20 se muestra la imagen en color verdadero, falso color y NDWI obtenidas con imágenes LANDSAT 8 con 30 m de resolución espacial.

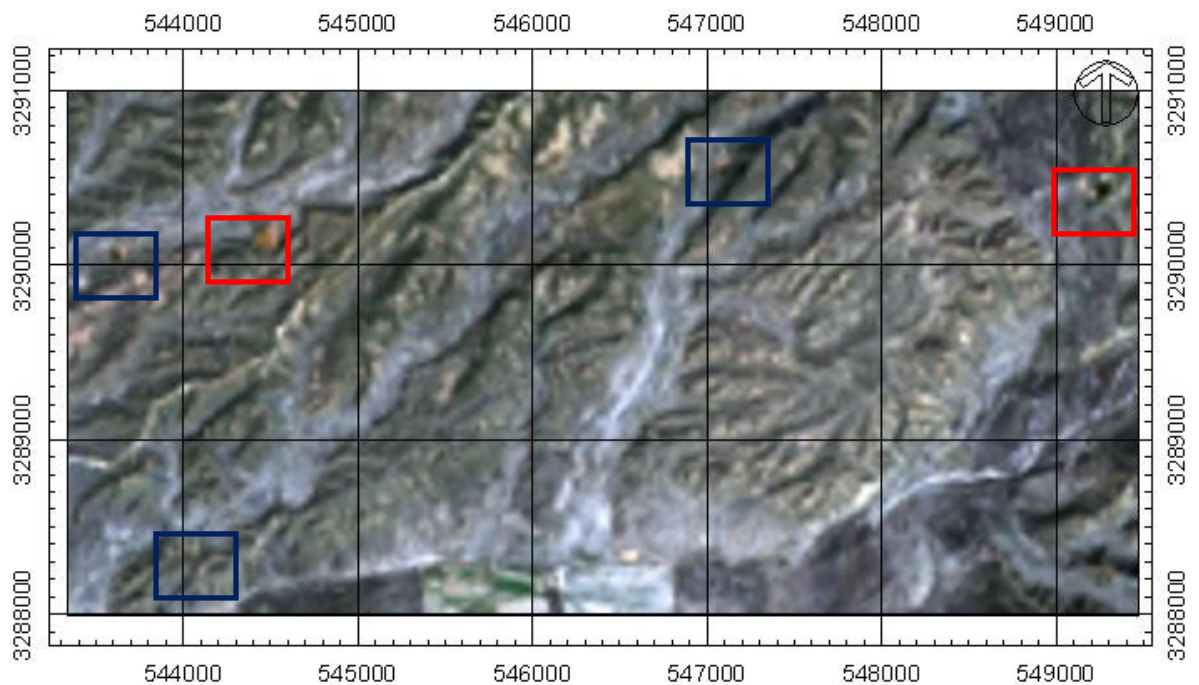


Figura 18. Imagen de color verdadero obtenida con imágenes LANDSAT 8.

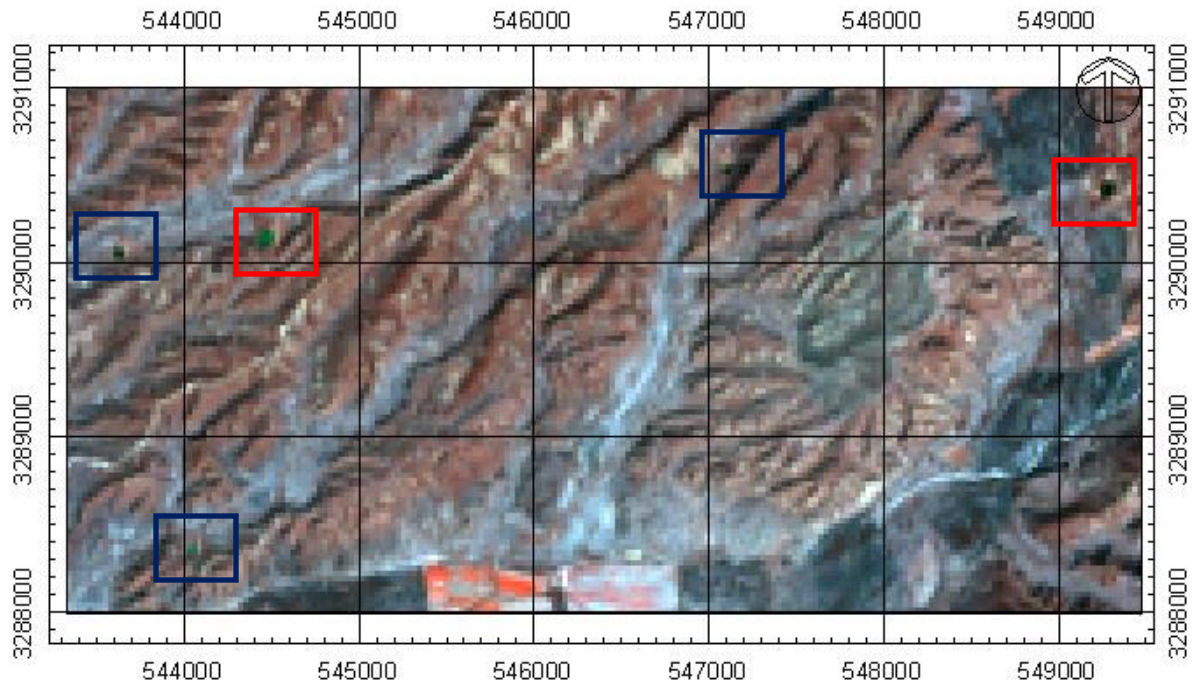


Figura 19. Imagen de falso color y NDWI obtenida con imágenes LANDSAT 8.

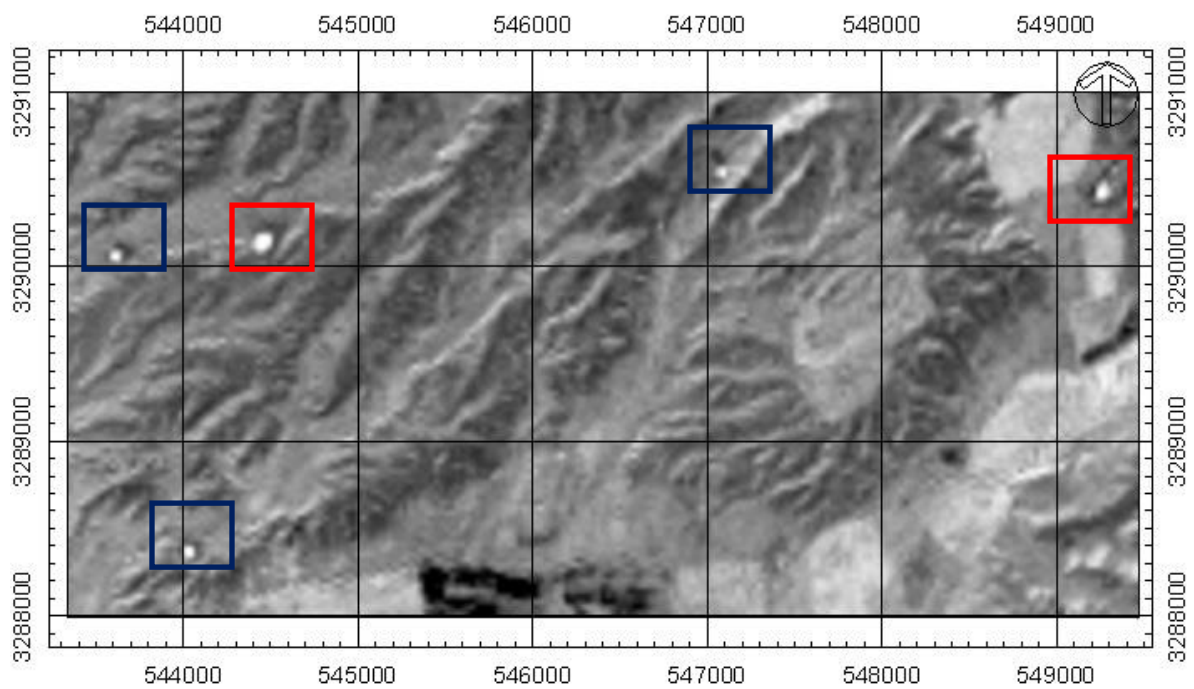


Figura 20. Imagen de NDWI obtenidas con imágenes LANDSAT 8

3.3.2. Estimación del volumen

Para estimar el volumen de los repesos se desarrolló intenso trabajo de campo en el que se realizó el levantamiento topográfico de una muestra representativa de repesos que se procesó en CivilCAD y en Excel para obtener la distribución de los puntos, la forma y la capacidad de almacenamiento de los cuerpos de agua. El procedimiento se describe a continuación.

3.3.2.1. Levantamiento topográfico

A partir del análisis de la información en ArcGIS, se eligió una muestra representativa de 14 repesos y, después de recorrido para verificar su existencia y la accesibilidad, se procedió a realizar el levantamiento topográfico utilizando GPS y Estación total. En la figura 22 se muestra la distribución de puntos x,y,z levantados en planta.



Figura 21. Imágenes de repeso 1.

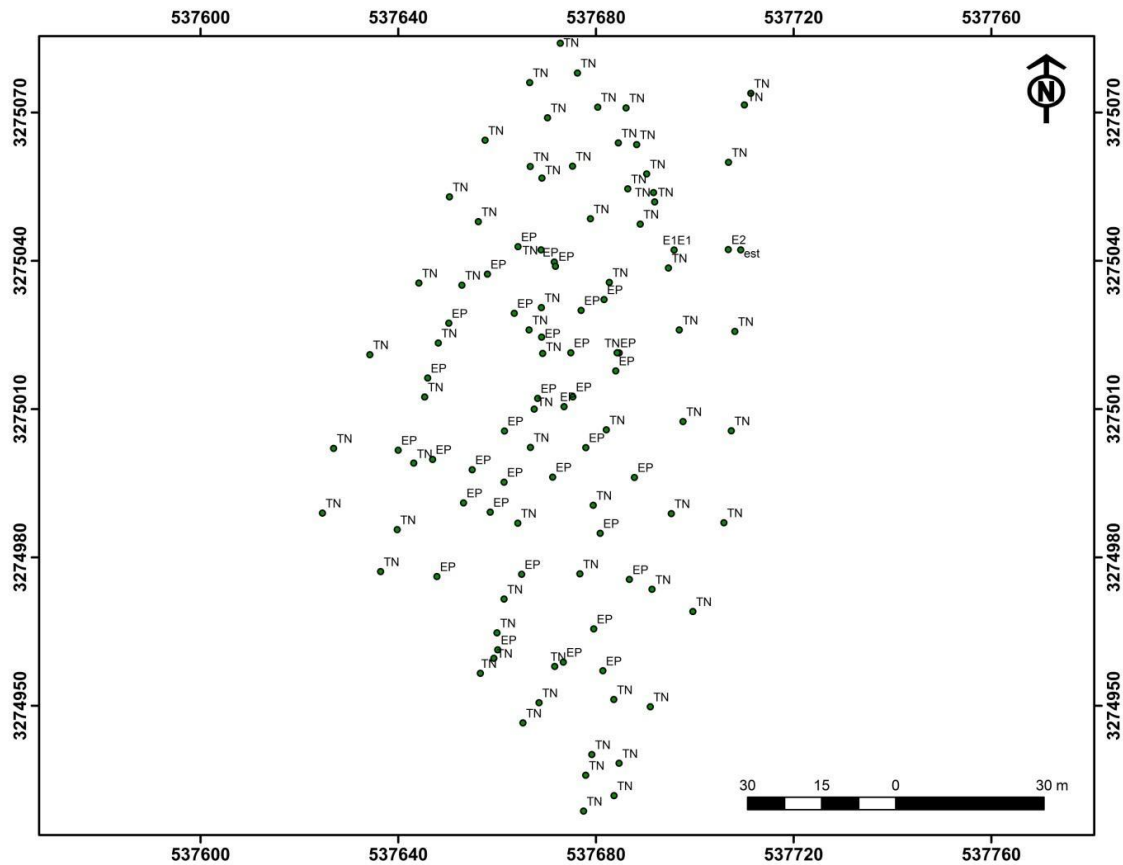


Figura 22. Distribución de puntos x,y,z en represo.

3.3.2.2. Estimación del volumen de los repesos

En la figura 22 se muestra la distribución de los puntos (x,y,z) distribuidos en el vaso y cortina del represo. Los datos se importaron al sistema informático ArcMAP donde con el procedimiento de interpolación Spline de la extensión Spatial Analyst, se crearon las curvas de nivel para realizar los cálculos del área de la superficie. Se utilizó Spline porque dio los mejores resultados, ajustando una función matemática a los puntos de entrada pasando a través de ellos y dando como resultado un modelo digital que representa la superficie de todo el represo con curvas de nivel.

A partir del modelo de red irregular de triángulos elaborado con el procedimiento 3D Analyst, se modeló la superficie del terreno en los repesos.

El área y volumen fueron obtenidos para diferentes profundidades, desde el nivel de almacenamiento máximo hasta el nivel en que la presa está vacía.

La figura 23 muestra las diferentes capas, que representa los niveles de agua a diferentes profundidades. Flecha muestra el punto más bajo en el terreno del represo. Para todos los niveles de profundidad se determinaron superficie, profundidad y volumen, con lo que se elaboraron curvas de Elevación, área, capacidad.

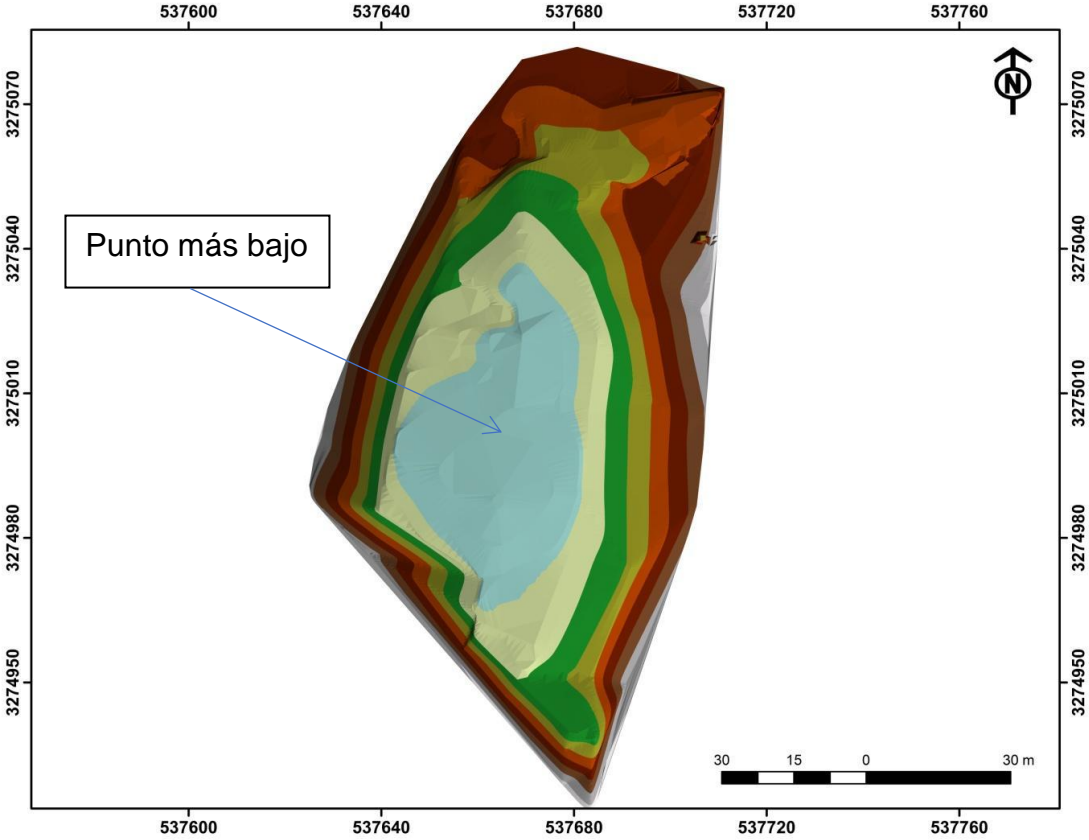


Figura 23. Diferentes niveles de agua en un represo

Tabla 1. Localización de represo 1.


LOCALIZACIÓN DE REPRESOS				
LIBRETA TOPOGRAFICA.				
EMPRESA:				
OBRA: REPRESO 1				
EQUIPO TOPOGRAFICO:		PERSONAL:		
ESTACION TOTAL SOCKIA		DANIRA ADRIANA MARTINEZ GARCÍA		
VEHICULO:				
DOG DE RAM 2500, MODELO 2013				
No.	CODIGO	COORDENADAS.		CROQUIS
		X	Y	
1	REPRESO_1	537654.000	3274996.000	

Tabla 2. Datos de elevaciones y áreas del represo 1.

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
543.20	0.00	0.00	0.00	0.00
543.40	5.63	2.82	0.56	0.56
543.60	412.69	209.16	41.83	42.40
543.80	1,342.93	877.81	175.56	217.96
544.00	2,195.14	1,769.04	353.81	571.76
544.20	2,688.02	2,441.58	488.32	1,060.08
544.40	3,181.18	2,934.60	586.92	1,647.00
544.60	3,621.05	3,401.11	680.22	2,327.22
544.80	4,035.65	3,828.35	765.67	3,092.89
545.00	4,471.09	4,253.37	850.67	3,943.57
545.20	4,883.49	4,677.29	935.46	4,879.02
545.40	5,280.86	5,082.18	1,016.43	5,895.46
545.60	5,733.15	5,507.00	1,101.40	6,996.86
545.80	6,187.60	5,960.38	1,192.08	8,188.93
546.00	6,765.57	6,476.59	1,295.32	9,484.25

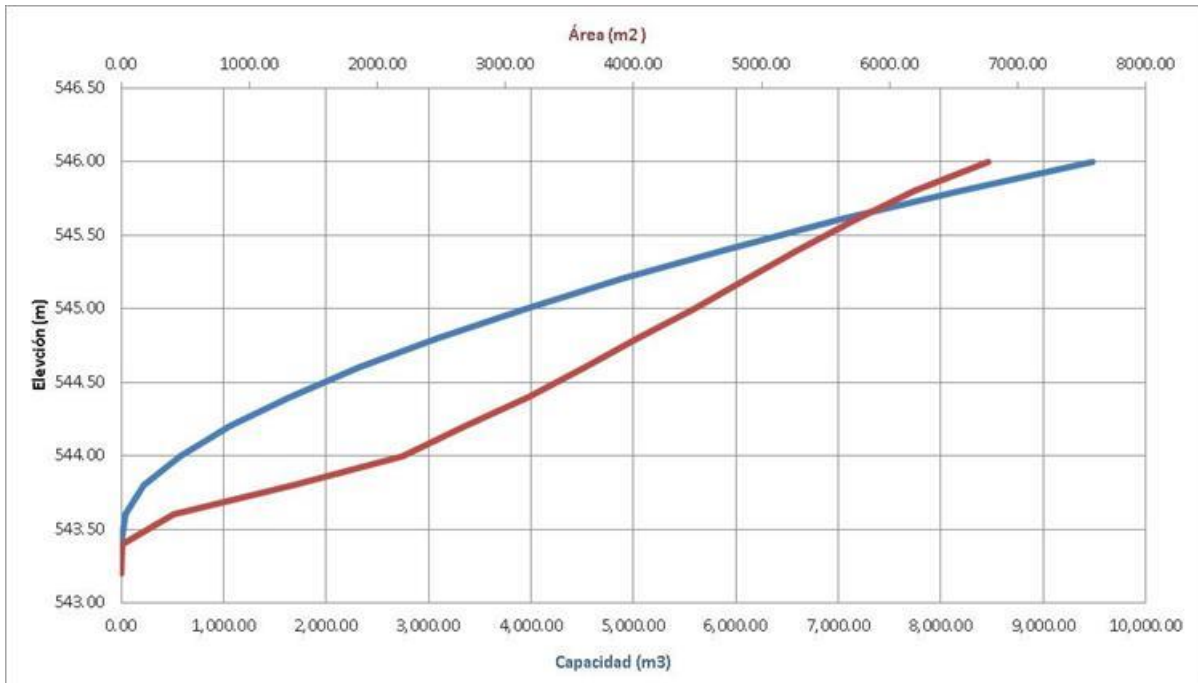


Figura 24. Curva de Elevaciones-Áreas-Capacidades Represo 1.

IV. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados sobre la identificación, el conteo y la medida y estimación del volumen de los repesos de la cuenca del Río San Miguel, Sonora. Se presentan también resultados del análisis fisiográfico de las subcuencas de los almacenamientos, con el que se determinó el área de cada vertiente y se estimó el volumen de agua retenido en los repesos que no llega a la salida de la cuenca.

4.1. Conteo de los repesos en registros oficiales

En la figura 25 se muestra el resultado del conteo actualizado de los repesos, teniéndose como resultado 510 repesos, de los cuales 191 se obtuvieron de la cartografía topográfica digital de INEGI y ninguno del REPDA (figura 26).

De acuerdo con estas cifras, se puede afirmar que 319 repesos no aparecen en los registros oficiales, es decir, por cada uno registrado, hay casi 3 repesos sin registrar.

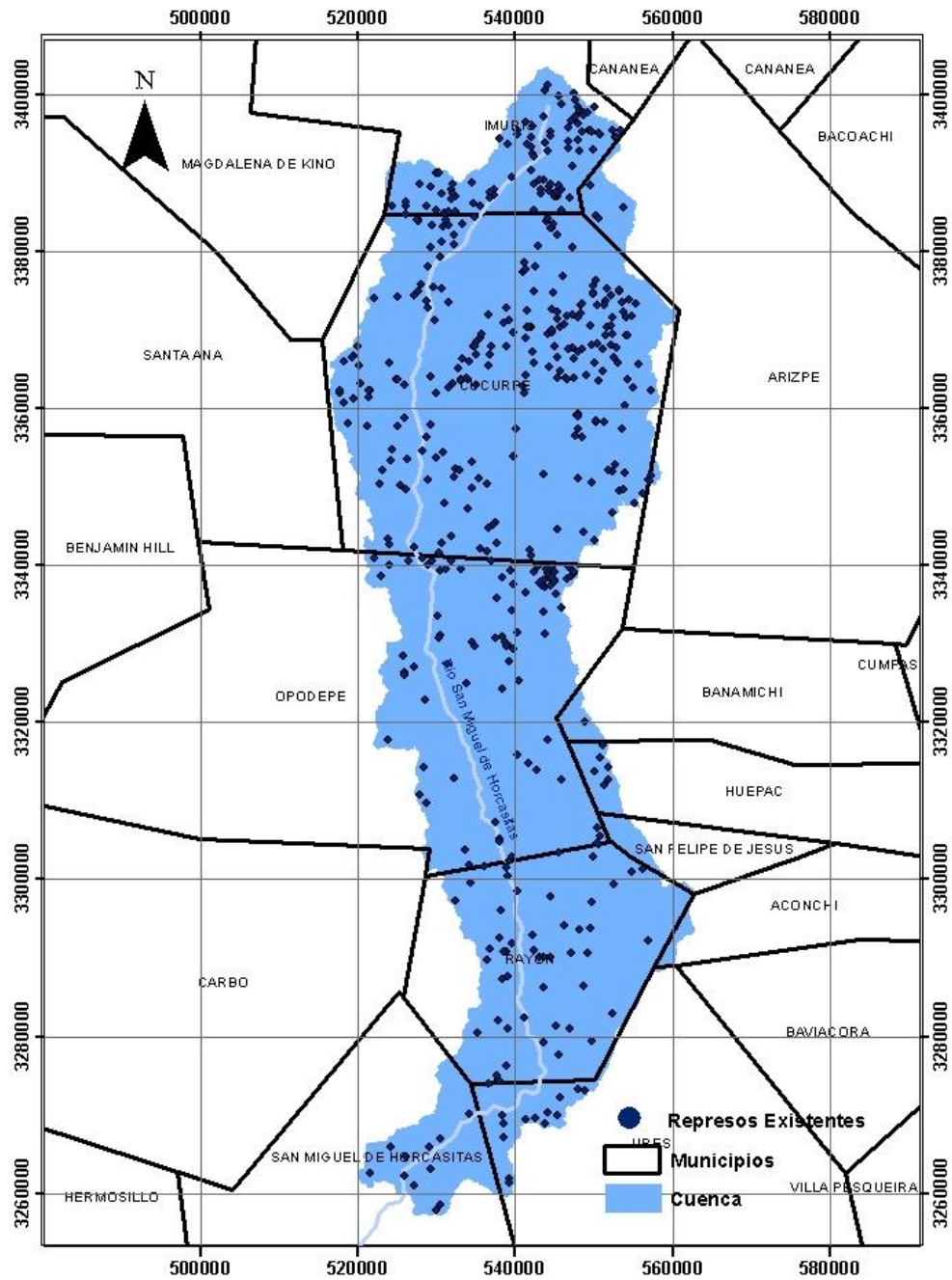


Figura 25. Distribución de los repesos contados en la cuenca.

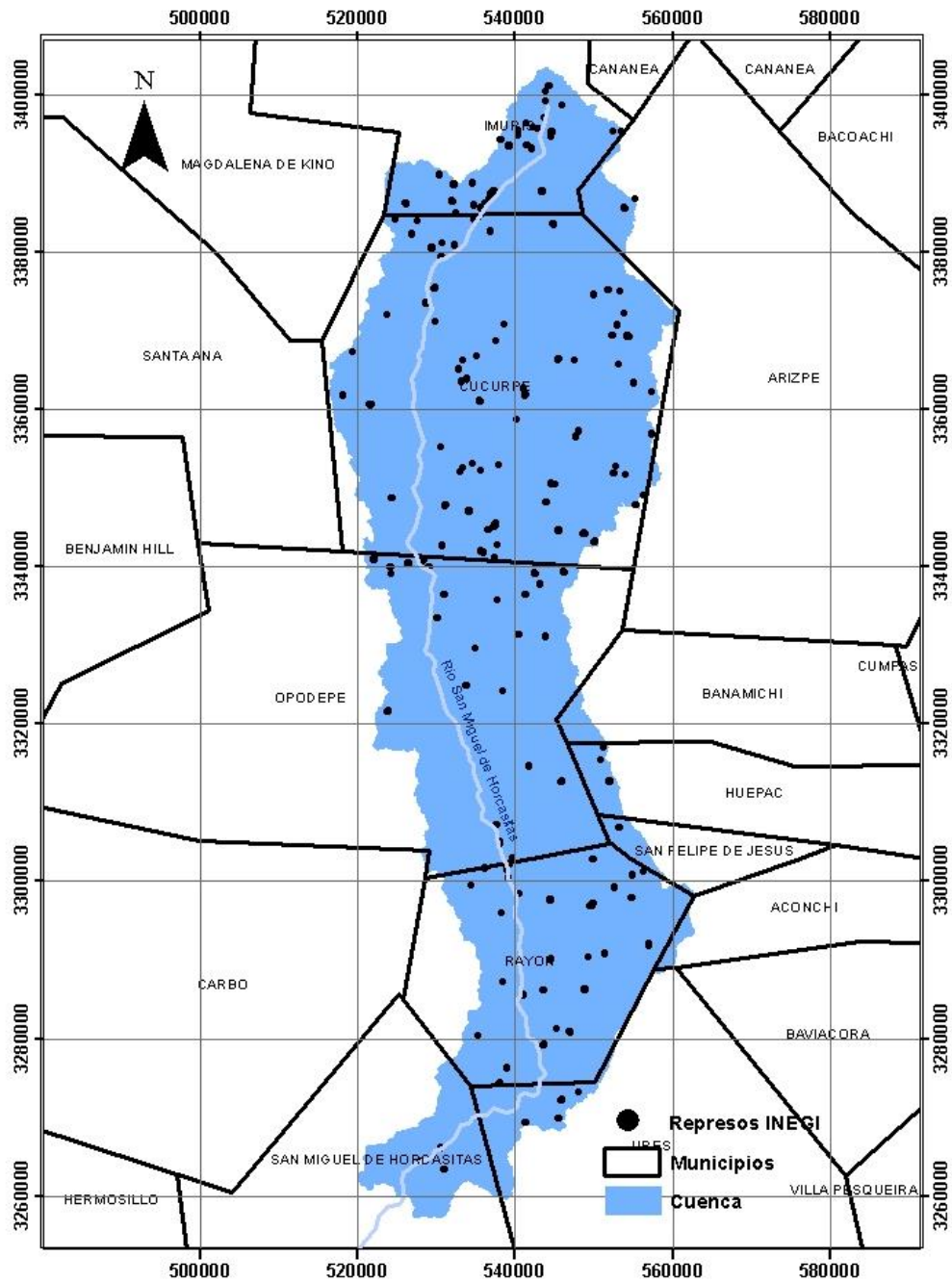


Figura 26. Represos registrados en cartografía de INEGI.

En la figura 25 y 26 se muestra el plano de la cuenca del Río San Miguel con la división política de los municipios que abarca y la tabla 3 contiene las cantidades de repesos por municipio y su relación con el tamaño del territorio municipal.

Tabla 3. Repesos y cantidad de repesos por municipio en la cuenca.

Aprovechamientos TESIS				
Clave	Municipio	Área del municipio (km ²)	Cantidad de Repesos	Repesos por km ²
6	ARIZPE	2476.5	7	0.003
13	BANAMICHI	601.0	1	0.002
22	CUCURPE	1665.3	236	0.142
34	HUEPAC	462.9	6	0.013
35	IMURIS	341.6	96	0.281
45	OPODEPE	2259.1	88	0.039
50	RAYON	806.9	52	0.064
53	SAN FELIPE DE JESÚS	148.7	0	0.000
56	SAN MIGUEL DE HORCASITAS	1017.9	11	0.011
66	URES	2669.2	13	0.005
Total =			510	0.559

Como puede apreciarse en la tabla 3, se identificaron 510 repesos que están distribuidos en toda la extensión territorial de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, que comprende total o parcialmente a 10 municipios (figura 25 y 26). El municipio de Cucurpe es el que más repesos tiene (236) y cuatro municipios: Cucurpe, Imuris, Opodepe y Rayón, tienen la mayoría de los repesos (92.5%).

4.2. Volumen de almacenamiento de los repesos

De acuerdo al análisis estadístico de la muestra (tabla 4) el volumen máximo de los repesos fue de 47,605.51 m³ y el mínimo de 1,980.53 m³. El volumen promedio de la muestra es de 12,323.98 m³, con una desviación estándar de 12,054.87 m³, lo que sugiere que los repesos tienen una amplia variabilidad en cuanto a captación de volumen de agua. Los niveles de agua en los repesos se encuentran entre 0.8 y 5.40 m de profundidad, mientras que las superficies del espejo del agua cuando están a su máxima capacidad, andan entre un mínimo de 2,163.96 m² y un máximo de 11,177.71 m².

Tabla 4. Información sobre la muestra de repesos de la cuenca de estudio.

Repeso	E _{max} (msnm)	E _{min} (msnm)	Profundidad (m)	A (m ²)	Vol (m ³)
1	546.00	543.20	2.80	6765.57	9484.25
2	586.00	583.00	3.00	8887.48	11417.24
3	548.00	544.80	3.20	6539.63	11783.77
4	606.20	603.20	3.00	3559.00	4692.62
5	637.60	634.80	2.80	4024.48	5771.99
6	576.00	573.00	3.00	7306.71	13007.49
7	600.00	598.60	1.40	2435.81	1980.53
8	629.00	626.60	2.40	6136.21	8351.17
9	824.00	819.40	4.60	11177.71	26024.09
10	791.00	787.80	3.20	9366.92	18412.64
11	1004.40	1001.40	3.00	5972.68	47605.51
12	975.00	969.60	5.40	2163.96	6803.77
13	411.80	411.00	0.80	5262.29	2306.68
14	399.00	396.20	2.80	3126.12	4893.94

Considerando el promedio de almacenamiento, la cuenca tendría una capacidad de almacenamiento de $12,232.98 \text{ m}^3 \times 510 \text{ repesos} = 6,285,229.80 \text{ m}^3$. Los municipios tendrían las siguientes capacidades de almacenamiento.

Tabla 5. Volumen almacenado por municipio de la cuenca.

Clave	Municipio	Cantidad de Repesos	Almacenamiento (m ³)	% del total
6	ARIZPE	7	86267.86	1.4%
13	BANAMICHI	1	12323.98	0.2%
22	CUCURPE	236	2908459.28	46.3%
34	HUEPAC	6	73943.88	1.2%
35	IMURIS	96	1183102.08	18.8%
45	OPODEPE	88	1084510.24	17.3%
50	RAYON	52	640846.96	10.2%
53	SAN FELIPE DE JESÚS	0	0	0.0%
56	SAN MIGUEL DE HORCASITAS	11	135563.78	2.2%
66	URES	13	160211.74	2.5%
Total =		510	6285229.8	6285229.8

Donde de igual manera, en la tabla 5, se puede apreciar que Cucurpe almacena el 46.3% del volumen total y que cuatro municipios tienen capacidad para almacenar 92.5% de la capacidad total de los repesos de la cuenca del Río Sonora.

4.3. Fisiografía de subcuencas de los repesos

En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis fisiográfico de una muestra de 160 subcuencas que aportan agua a repesos de la cuenca del Río San Miguel, realizado tomando como base el modelo digital de resolución espacial de 15 m de INEGI.

La forma de las cuencas, de acuerdo con los parámetros Rb, Re y Cc, son predominantemente alargadas en dirección del escurrimiento, con pendientes del terreno que varían dependiendo de la orografía de la zona. Las situadas por arriba de los 700 msnm, se caracterizan por tener pendientes entre 21.42% y 1.27% con un promedio de 7.03%, valores típicos de la zona agreste localizada en la porción alta de la cuenca. Las pendientes de las que se encuentran por debajo de esa altitud son de 18.79 a 0.08, con un promedio de 3.86%, valores representativos de las zonas bajas con terrenos planos a ondulados de la parte media y baja de la cuenca.

Se puede apreciar que los almacenamientos captan escurrimiento de pequeñas áreas con promedio de 4.416 km², con valores mínimo de 0.013 km² y máximo de 207.082 km². Las vertientes situadas por arriba de los 700 msnm de altitud, son de mayor magnitud, con valores promedio de superficie de 6.172 km² y longitud de cauce de 2.651 km. Las áreas de las vertientes andan entre 0.013 km² y 207.082 km² y los cauces entre 20.684 km y 0.231 km de longitud. Las cuencas localizadas por debajo de los 700 msnm son más pequeñas, con superficie promedio de 0.871 km² y longitud de cauce promedio de 1.547 km. Las áreas de las vertientes andan entre 4.736 km² y 0.019 km² y los cauces entre 7.434 km y 0.220 km de longitud.

Área de drenaje en la cuenca

Los 510 repesos identificados reciben agua de las subcuencas analizadas, que, como se puede apreciar en la tabla 6, en promedio tienen una superficie de 3.141 km², por lo que en total cubren una superficie de drenaje estimada $S_{de} = 510$

represos $\times 3.141 \text{ km}^2 = 1602 \text{ km}^2$, lo que representa el 42.4% del área total de la vertiente.

En el trabajo de campo realizado, se observó que los represas solo son bordos que retienen agua y pocos tienen una sección de cota más baja que podría funcionar como vertedor, por lo que retienen casi toda el agua que reciben, sobre todo los que se alimentan de cuencas muy pequeñas, como son la mayoría, lo que significa que gran parte del escurrimiento superficial que se produce en esas superficies, no llegará a la salida de la cuenca, ocupándose gran parte del volumen para uso agropecuario y el resto se distribuye entre los elementos del balance hídrico como son evaporación, transpiración e infiltración.

Tabla 6. Fisiografía de 160 subcuencas de la Cuenca San Miguel, Sonora.

Cuenca	X	Y	A (km ²)	P (km)	Re	Rb	Cc	Lm (m)	Lc (m)	Emc	Sc (%)	S (%)	Zmax cau	Zmin cau
1	544915	3350320	0.013	1.308	0.203	2.000	3.193	642.456	5802.158	1010.231	1.000	5.248	1311.500	1007.000
2	530459	3266346	0.019	0.675	0.496	2.000	1.390	311.459	516.120	408.978	1.000	2.228	430.500	419.000
3	538560	3267090	0.024	0.781	0.581	2.000	1.424	300.367	301.659	547.310	1.845	13.967	573.085	530.951
4	528661	3373645	0.028	1.079	0.463	2.000	1.822	406.916	848.897	961.000	1.486	7.186	1411.000	1350.000
5	530512	3379358	0.031	0.720	0.868	2.000	1.145	230.580	153.391	1012.510	2.400	10.741	1012.540	996.064
6	534566	3353137	0.038	0.854	0.887	2.000	1.239	246.960	906.148	992.820	1.989	9.683	1116.750	1029.010
7	535457	3360970	0.054	1.042	0.712	2.000	1.268	367.323	1133.513	954.179	2.141	3.380	957.315	919.000
8	538786	3300458	0.062	1.194	0.580	2.000	1.349	485.214	286.411	603.099	1.174	2.968	598.500	589.998
9	535946	3302041	0.094	1.704	0.457	2.000	1.567	756.321	563.035	720.390	2.565	11.636	719.500	653.988
10	539484	3303294	0.095	1.504	0.732	1.333	1.377	474.549	425.718	603.792	1.000	1.057	603.500	599.000
11	548904	3273321	0.113	1.682	0.978	2.000	1.411	387.719	220.047	582.875	1.125	2.499	577.500	572.000
12	543919	3279514	0.126	1.955	0.485	2.000	1.554	824.469	625.460	523.112	1.000	1.759	526.000	515.000
13	548192	3358988	0.132	1.992	0.518	2.000	1.545	791.310	2193.492	1097.635	1.205	5.995	1231.500	1100.000
14	538366	3305459	0.136	2.770	0.343	1.500	2.117	1213.681	715.138	620.707	1.000	1.398	622.000	612.000
15	529087	3380762	0.147	1.859	0.630	2.000	1.369	685.389	1732.348	1040.267	1.441	3.666	1076.500	1013.000
16	538824	3280889	0.147	2.003	0.687	1.333	1.471	630.725	502.234	601.204	1.256	3.859	599.500	580.117
17	543177	3387931	0.150	1.557	0.806	1.500	1.135	541.718	1197.682	1400.157	1.986	4.963	1139.440	1080.000
18	537871	3296264	0.154	1.740	0.647	1.500	1.252	683.492	613.892	650.928	2.258	9.122	658.500	602.000
19	526149	3262152	0.160	1.759	0.784	1.500	1.239	575.439	301.770	393.920	1.079	0.083	390.250	390.000
20	530767	3264274	0.161	1.989	0.544	2.000	1.399	830.959	783.707	422.478	1.156	2.137	426.750	410.000
21	556838	3292403	0.163	1.758	0.817	1.200	1.229	556.944	392.991	910.499	1.579	4.199	900.500	884.000
22	529872	3375629	0.164	2.129	0.600	2.000	1.484	761.018	1345.066	984.004	1.432	6.013	1334.000	1253.120
23	551055	3315519	0.174	1.826	0.810	1.333	1.235	580.570	417.796	1352.125	2.314	17.382	1356.000	1283.380
24	546098	3272402	0.175	2.111	0.637	1.250	1.421	742.127	472.096	528.183	1.040	1.766	528.500	518.163
25	533953	3270348	0.181	1.993	0.596	2.000	1.320	806.749	710.908	498.677	2.131	8.410	498.750	438.962
26	549331	3290641	0.182	1.862	0.888	2.333	1.230	542.225	378.194	635.084	1.316	4.098	633.500	618.000
27	555353	3347736	0.214	2.509	0.750	1.250	1.531	694.976	624.343	1391.036	2.292	1.922	1017.000	1005.000
28	529032	3340372	0.228	2.502	0.601	1.333	1.477	895.980	1067.650	812.488	1.650	5.760	878.500	817.000
29	553214	3370793	0.241	2.411	0.666	1.333	1.386	831.636	1088.288	1260.027	1.342	12.818	1408.500	1269.000
30	521540	3362486	0.246	2.507	0.607	1.625	1.427	920.443	612.612	1015.724	1.074	3.673	1018.500	996.000
31	543697	3286254	0.259	2.690	0.474	1.667	1.490	1211.345	822.486	578.837	1.003	2.152	580.500	562.802
32	553668	3372622	0.262	2.479	0.568	2.150	1.367	1015.521	755.332	1318.343	1.541	7.128	1273.750	1219.910
33	544048	3269948	0.267	2.472	0.724	1.667	1.349	804.604	802.847	571.805	2.465	7.411	584.500	525.000
34	538070	3301405	0.271	3.590	0.429	2.750	1.943	1371.233	1270.011	625.708	1.084	3.228	639.000	598.000
35	556463	3349349	0.283	2.545	0.671	3.667	1.350	894.335	569.818	1467.218	2.286	8.785	1403.500	1353.440
36	542371	3269353	0.295	2.162	1.082	2.000	1.122	566.693	522.412	649.262	2.335	9.555	643.000	593.086
37	531028	3263184	0.315	2.595	0.830	2.146	1.303	762.815	4670.648	434.808	1.204	2.130	489.500	390.000
38	537532	3307791	0.343	2.910	0.544	1.167	1.400	1215.671	1024.358	665.801	2.165	3.618	665.000	627.935
39	552540	3369044	0.344	2.799	0.807	2.750	1.345	820.288	1118.606	1306.703	1.551	16.180	1487.250	1306.260
40	518820	3367357	0.352	3.016	0.718	1.875	1.434	931.338	6480.969	1198.533	2.065	3.873	1211.000	960.000
41	530245	3257609	0.357	2.497	0.789	2.250	1.178	854.380	676.718	430.091	1.016	2.032	431.750	418.000
42	531087	3258760	0.359	3.241	0.533	1.600	1.526	1268.355	1213.192	452.716	1.193	2.276	458.500	430.882
43	546211	3312977	0.360	2.994	0.650	1.143	1.408	1041.387	943.930	920.637	2.248	10.223	958.500	862.000
44	537580	3292957	0.379	3.724	0.479	1.167	1.706	1450.080	1372.508	690.688	2.054	6.867	736.250	642.000
45	543486	3268779	0.379	3.359	0.837	1.917	1.538	830.322	1218.618	588.976	1.941	4.081	604.750	555.014
46	536233	3274359	0.392	2.564	0.810	1.833	1.155	871.735	1810.304	552.247	1.810	5.671	563.000	517.049
47	536367	3344598	0.395	2.986	0.982	1.952	1.340	721.886	1300.970	971.674	1.940	5.765	1018.000	943.000
48	521044	3262599	0.405	3.444	0.536	1.167	1.526	1338.593	1533.374	497.780	1.760	3.668	518.250	462.000
49	557346	3356837	0.417	3.446	1.064	1.667	1.505	684.243	1823.742	1490.960	2.514	12.803	1451.500	1218.000
50	553930	3352044	0.420	2.704	1.015	2.688	1.176	720.912	776.765	1415.108	2.194	11.393	1506.500	1418.000
51	530407	3390139	0.425	3.166	1.013	1.750	1.369	725.800	2193.140	1170.451	1.100	5.722	1477.500	1352.000
52	528894	3262716	0.426	3.334	0.561	1.833	1.440	1313.549	1115.741	416.375	1.008	1.501	419.750	402.999
53	539142	3260853	0.442	2.853	0.773	1.789	1.210	969.490	757.860	597.770	1.507	2.177	591.500	575.000
54	533136	3352843	0.446	3.678	0.763	4.214	1.553	987.240	6007.339	1091.488	2.446	7.491	1339.000	889.000
55	547423	3281470	0.474	3.283	0.611	1.733	1.344	1271.555	1280.116	578.311	1.151	2.461	589.500	558.000
56	549925	3342979	0.496	4.074	1.547	1.732	1.632	513.582	931.984	1246.461	2.276	6.669	1259.250	1197.100
57	534096	3364314	0.499	3.056	0.776	1.786	1.220	1026.936	922.600	1095.270	2.476	3.037	1038.000	1010.000
58	537530	3382926	0.501	3.534	0.689	1.804	1.407	1159.014	30398.066	1123.342	1.329	1.941	1640.000	1050.000
59	538809	3276844	0.503	3.118	0.775	1.725	1.240	1032.009	1233.450	743.823	2.574	7.459	761.000	669.000
60	532603	3388520	0.503	3.315	0.764	1.786	1.319	1046.786	774.792	1266.727	1.741	3.034	1179.500	1155.990
61	530486	3343255	0.510	3.174	0.793	1.952	1.253	1015.875	2154.540	861.750	1.688	3.110	1000.000	933.000
62	551316	3317392	0.516	3.603	0.810	2.102	1.414	1000.840	837.836	1337.006	3.327	15.280	1351.000	1222.980
63	551881	3375635	0.559	3.449	0.886	1.786	1.301	951.308	1649.487	1408.627	2.015	5.881	1439.000	1342.000
64	540712	3269214	0.564	3.959	0.776	1.200	1.487	1091.152	1545.894	662.394	2.215	4.172	678.500	614.000
65	545908	3277921	0.566	3.278	0.825	1.583	1.229	1028.392	963.510	580.049	1.901	3.470	578.500	545.071
66	554778	3369168	0.584	3.783	0.778	1.625	1.397	1107.346	858.648	1359.622	2.362	4.658	1313.000	1273.000
67	552904	3307344	0.584	3.522	0.824	1.833	1.300	1045.824	1056.486	552.000	1.800	18.789	1418.500	1220.000
68	532169	3381731	0.596	4.481	0.456	1.708	1.637	1908.353	260.173	1078.650	1.624	1.545	953.000	948.980
69	529692	3262835	0.599	3.494	0.662	1.563	1.274	1319.010	1135.179	425.586	1.005	1.850	432.000	411.000
70	524150	3266655	0.600	3.849	0.564	1.657	1.401	1549.925	1436.569	459.932	1.058	2.449	472.000	436.824
71	535720	3352782	0.607	3.993	0.706	1.679	1.446	1244.256	126.338	1062.370	1.867	8.510	978.500	967.749
72	533563	3363372	0.611	3.618	0.936	1.733	1.305	942.066	961.731	1043.798	1.466	6.089	1213.750	1155.190
73	550392	3303517	0.623	4.088	0.605	1.583	1.460	1471.105	1490.082	971.463	1			

Cuenca	X	Y	A (km ²)	P (km)	Re	Rb	Cc	Lm (m)	Lc (m)	Emc	Sc (%)	S (%)	Zmax cau	Zmin cau
84	534805	329245	0.764	4.580	1.040	1.786	1.478	947.720	1112.427	1104.063	2.468	9.574	1139.500	1033.000
85	545845	3270318	0.789	5.003	1.004	1.946	1.588	997.623	1485.153	579.068	1.654	3.803	597.500	541.022
86	540723	3330976	0.794	4.242	0.742	1.694	1.342	1354.625	1408.974	1356.143	2.824	6.849	1357.500	1261.000
87	547197	3366663	0.811	3.669	0.957	2.017	1.149	1062.292	2168.491	1189.741	2.368	4.127	1425.500	1336.000
88	537874	3368523	0.813	4.304	0.857	1.964	1.346	1187.351	17908.805	1404.308	2.860	1.993	1303.000	946.000
89	555252	3363791	0.851	3.673	0.908	1.675	1.123	1145.993	3032.304	1463.935	2.639	2.061	999.500	937.000
90	552963	3351870	0.857	4.679	0.772	1.563	1.425	1352.139	787.396	1368.019	2.301	8.065	1423.500	1360.000
91	535973	3290827	0.861	5.062	0.590	3.386	1.538	1775.801	2026.451	829.942	3.028	17.088	1012.250	665.979
92	528069	3261467	0.916	4.973	0.500	1.644	1.465	2160.228	1645.914	405.661	1.003	1.246	412.500	392.000
93	539269	3262711	0.952	5.423	0.633	1.625	1.567	1739.045	1808.931	587.881	1.163	1.645	597.750	568.000
94	531359	3381522	0.964	4.730	0.807	1.863	1.359	1372.921	685.599	1064.042	1.863	1.615	981.000	969.929
95	557636	3291530	0.969	4.881	0.733	2.450	1.398	1515.059	1550.704	953.160	1.812	5.981	978.500	885.750
96	538140	3275584	0.980	6.722	0.520	1.675	1.915	2148.117	2435.479	629.366	1.849	5.707	705.000	566.000
97	552967	3375713	0.984	4.470	0.761	1.764	1.271	1469.524	768.870	1409.725	1.886	9.502	1349.000	1275.940
98	537497	3287508	1.029	5.394	0.831	1.961	1.499	1377.790	2128.771	789.499	2.887	7.553	810.000	649.209
99	550304	3374260	1.055	5.130	0.863	1.602	1.408	1343.171	848.897	1330.669	2.280	7.186	1411.000	1350.000
100	546079	3366561	1.094	4.828	0.743	2.008	1.302	1587.109	944.062	1219.779	1.813	6.318	1183.750	1124.100
101	553341	3352569	1.164	5.524	0.712	1.800	1.444	1710.365	1422.688	1347.772	3.031	5.096	1377.500	1305.000
102	531716	3348126	1.169	5.942	0.709	1.625	1.550	1719.278	9502.995	962.477	1.637	4.625	1314.500	875.000
103	548481	3272920	1.237	5.545	1.452	1.625	1.406	863.736	939.295	579.891	1.326	1.810	572.000	555.000
104	521488	3340935	1.263	5.602	1.142	2.208	1.406	1110.353	6819.760	1009.563	2.355	2.994	1018.170	814.000
105	540709	3359935	1.296	6.600	0.446	2.736	1.635	2880.411	678.896	973.355	1.279	2.983	1099.250	1079.000
106	555515	3301611	1.308	5.515	0.683	3.117	1.360	1888.611	2014.998	1187.381	2.659	11.563	1285.000	1052.000
107	538811	3325032	1.314	5.727	0.645	1.738	1.409	2003.100	2137.525	1079.385	3.201	13.731	1190.500	897.000
108	536985	3281993	1.335	5.769	0.911	1.891	1.408	1430.857	2039.244	673.474	2.071	4.709	702.000	605.971
109	546336	3292158	1.369	7.824	1.221	3.310	1.885	1081.368	6863.666	641.776	1.669	2.681	776.000	592.000
110	539409	3268532	1.387	6.535	0.662	1.575	1.565	2005.408	2566.977	578.788	2.349	4.714	623.000	502.000
111	525695	3382565	1.458	6.254	0.684	1.689	1.461	1989.782	607.727	1366.687	3.079	2.715	1038.500	1022.000
112	545110	3338832	1.467	6.207	0.597	4.719	1.445	2287.371	2663.387	1422.726	3.096	11.452	1511.000	1206.000
113	536344	3341969	1.484	6.083	0.824	2.238	1.408	1666.870	2625.530	974.797	1.536	8.312	1227.250	1009.020
114	547796	3291760	1.509	7.213	0.520	2.299	1.656	2663.963	3027.669	702.566	2.155	3.486	738.750	633.203
115	542960	3348188	1.572	5.887	0.731	1.567	1.324	1934.765	3140.442	1155.072	2.228	9.871	1377.000	1067.000
116	523941	3383943	1.651	6.360	0.765	1.727	1.396	1894.441	7031.079	1444.073	2.505	9.686	1787.000	1105.000
117	542487	3315609	1.802	6.428	0.603	2.792	1.350	2510.131	1943.248	938.759	2.718	9.783	1003.250	813.147
118	545485	3384740	1.869	8.382	0.471	1.595	1.729	3275.666	436.501	1396.305	1.683	5.384	1395.250	1371.750
119	548079	3357156	2.003	6.570	0.854	2.175	1.309	1868.322	671.693	1160.674	2.093	8.340	1487.000	1430.980
120	552862	3284471	2.009	8.366	0.453	2.342	1.665	3529.435	3678.196	720.453	1.835	3.915	799.000	654.999
121	544967	3331910	2.041	6.701	0.642	1.795	1.323	2508.686	3054.044	1404.926	3.331	14.099	1586.500	1155.910
122	540549	3303969	2.061	11.153	0.409	1.669	2.191	3962.244	4801.801	659.371	1.361	2.634	720.500	594.000
123	539503	3282791	2.242	9.875	0.487	4.301	1.860	3467.710	3767.815	584.792	1.609	3.784	658.000	515.411
124	531194	3354716	2.283	7.129	1.837	1.619	1.330	927.896	3813.476	1030.751	2.644	5.855	1210.000	986.739
125	537749	3288283	2.288	7.709	0.700	1.557	1.437	2436.681	2985.644	787.763	3.094	7.779	856.000	623.755
126	538745	3343041	2.374	7.134	0.787	2.345	1.306	2208.044	2109.990	1117.147	2.554	4.647	1180.000	1081.950
127	538603	3344486	2.418	7.638	0.630	1.994	1.385	2783.502	708.677	1092.853	2.456	11.403	996.500	915.689
128	538650	3352237	2.420	8.524	0.642	1.596	1.545	2734.564	1458.821	1183.227	2.410	5.777	1095.500	1011.260
129	528391	3341767	2.576	7.091	0.854	1.781	1.246	2120.711	849.980	856.934	1.896	4.177	823.500	788.000
130	528604	3267734	2.620	9.201	0.489	1.738	1.603	3736.827	4252.186	456.758	1.395	2.258	503.000	407.000
131	553794	3366365	2.622	7.206	1.001	1.871	1.255	1824.890	1083.570	1416.745	2.190	12.737	1530.000	1391.990
132	549691	3344636	3.052	8.157	0.830	2.021	1.317	2375.413	254.910	1183.126	2.321	1.275	410.000	406.750
133	553216	3387066	3.223	10.435	0.546	1.698	1.639	3709.614	4350.310	1655.782	2.602	6.902	1793.250	1493.000
134	540410	3363283	3.633	10.304	0.594	1.884	1.524	3620.443	1795.557	1073.828	1.998	3.661	1235.750	1170.020
135	550887	3286184	3.760	11.738	0.505	1.699	1.707	4331.013	5229.230	700.219	1.837	3.136	790.000	626.000
136	544450	3292237	3.933	12.272	0.455	1.721	1.745	4912.070	5564.129	646.313	1.751	3.060	740.250	570.000
137	547865	3283278	4.231	15.354	0.374	2.095	2.105	6209.204	7433.886	611.456	1.372	1.996	691.250	542.862
138	546224	3299114	4.349	11.046	0.637	1.688	1.494	3693.253	4377.736	806.670	2.436	3.735	857.500	694.000
139	527967	3266608	4.577	10.980	0.554	1.680	1.447	4356.956	4670.648	434.974	1.309	2.130	489.500	390.000
140	534950	3325574	4.623	10.057	0.775	1.813	1.319	3130.011	4268.227	901.266	2.349	6.150	1042.500	780.000
141	545909	3290511	4.736	14.076	0.426	1.839	1.824	5760.524	6588.075	652.786	1.666	2.561	736.750	568.000
142	542643	3349470	4.970	14.180	0.675	2.034	1.794	3726.571	2267.728	1155.282	2.147	9.018	1277.500	1073.000
143	546800	33292401	5.197	13.588	0.537	3.539	1.681	4786.709	5707.662	710.682	2.114	2.943	776.000	608.000
144	537177	3349890	5.717	20.511	0.376	3.820	2.419	7179.443	10860.712	1104.238	2.480	3.499	1291.000	911.000
145	535353	3282047	5.735	11.558	0.867	2.635	1.361	3115.307	4089.104	728.477	2.210	5.270	847.500	632.000
146	522274	3373612	6.943	14.229	0.782	1.878	1.523	3802.882	5432.450	1304.714	2.756	5.481	1298.750	1001.000
147	534801	3366123	8.730	15.046	0.811	2.217	1.436	4107.852	929.562	1175.772	2.669	4.626	1078.000	1035.000
148	525450	3386707	8.941	16.305	0.578	1.928	1.538	5832.337	2510.384	1386.647	2.509	11.592	1479.000	1188.000
149	553724	3283911	9.548	30.742	0.294	3.087	2.806	11874.453	13894.052	753.407	1.877	3.148	1018.500	581.063
150	556598	3300390	9.921	17.475	0.652	2.192	1.565	5445.248	7755.481	1229.331	3.036	11.579	1708.000	810.000
151	521959	3349571	11.980	16.745	0.854	2.185	1.364	4573.009	2066.724	1099.705	2.910	3.168	979.469	914.000
152	523539	3339149	13.901	20.137	0.821	1.937	1.523	5121.705	3316.390	980.415	2.310	3.769	919.000	794.000
153	518806	3362591	17.862	21.252	0.832	2.027	1.418	5727.499	255.951	1126.791	2.302	12.331	954.500	922.938
154	531133	3302244	25.015	30.880	0.641	2.217	1.741	8802.715	11636.609	910.370	2.555	3.164	1032.170	664.000
155	537544	3335926	26.578	43.485	0.388	2.209	2.379	14987.614	20291.794	1096.373	2.556	3.760	1536.000	773.000

V. Conclusiones e investigación futura

5.1. Conclusiones

Esta tesis aporta un procedimiento confiable para conocer el número de repesos existentes y el volumen retenido, que no llegará al punto de salida de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, identificado como la estación hidrométrica “El cajón”; además, constituye un punto de partida y una valiosa base de datos para realizar estudios de administración de los recursos hídricos, planeación del desarrollo sustentable de los municipios que abarca y de los impactos ambientales que las actividades productivas y de creación de infraestructura se generan en la vertiente.

También proporciona información que puede ser útil para complementar a la ya existente registrada por CONAGUA en el REPDA y en la cartografía digital de INEGI con lo que tendría las especificaciones para que pueda ser utilizada por los municipios para mejorar sus inventarios de recursos y sus planes de desarrollo municipal.

El conteo de repesos en la cuenca del Río San Miguel y en todas las cuencas, por lo que se recomienda que sea una actividad permanente y sistemática para mantener actualizadas las fuentes de información oficiales. Los registros de cada repeso que se integren a estas bases de datos oficiales, deben contar además con datos de construcción e infraestructura con que cuentan y el estado actual, de manera que se prevengan daños por posibles fallas o avenidas que superen las de diseño, por lo que deben destinarse recursos para trabajo de campo para levantar esta información.

5.2. Investigación futura

Impacto del volumen almacenado en la economía de los municipios. Como se observó, algunos municipios tienen gran cantidad de repesos, por lo que se recomienda analizar el impacto económico que estas pequeñas obras tienen en la comunidad y su desarrollo social y económico.

Potencial de escurrimiento regional en la cuenca del Río San Miguel, Sonora. Determinar mediante modelación hidrológica de parámetros semidistribuidos, el potencial de escurrimiento de las zonas donde se localizan los repesos y cuantificar el volumen que retienen y que no llega a la salida de la cuenca.

Modelo Hidrológico de la cuenca del Río San Miguel, Sonora. Ningún modelo de la cuenca del Río San Miguel ha considerado en sus procesos y resultados la existencia de almacenamientos en la cuenca (Valencia 2007, Salas 2009 y Saiz Rodríguez 2015) por lo que es importante elaborar un modelo que considere el efecto en el escurrimiento de los 510 repesos identificados y se compare con los resultados de los modelos propuestos en estos trabajos.

Balance de agua. Realizar un balance de agua en los aprovechamientos para cuantificar cada uno de los elementos del Ciclo Hidrológico y evaluar el impacto de los repesos en la recarga del acuífero.

Identificación y evaluación de repesos con teledetección. Las imágenes Landsat mostraron ser una buena herramienta para el conteo y en los análisis realizados, se aprecian áreas que aparentemente indican que hay un repeso, pero es necesario hacer visitas a campo para confirmar su existencia y también utilizar otros procedimientos y otros sensores remotos para establecer una metodología automatizada para identificar, contar y evaluar características de los repesos de la cuenca.

Modelo para estimación de volumen en repesos. Ampliando la muestra de repesos, es posible desarrollar un modelo para estimar volumen a partir de la forma y magnitud del área de un repeso estimadas con fotografía aérea con drone o con imagen satelital de alta resolución.

VI. Referencias

Aparicio, M. F. (2004). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: LIMUSA.

CONAGUA, C. N. (2002). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero rio San Miguel, Estado de Sonora. México.

Comisión Nacional del Agua. (2009). Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero Rio San Miguel. Disponibilidad media anual de agua subterránea, 44.

Dal-Ré Tenreiro. (2003). “Pequeños embalses de uso agrícola” Ed. Mundi-Prensa. España.

Félix Salas, F.B. (2009). Análisis del escurrimiento de la cuenca del Rio San Miguel, Sonora, México, durante el 2004. Tesis. Maestría en Ciencias en Geología. División de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Sonora.

Frasier, G., & Myers, L. (1983). Handbook of Water Harvesting (Vol. Agriculture Handbook number 600). USA: United States Department of Agriculture.

GAO, B.C. (1996). (NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, pp. 257–266.

Hudson, N. (1998). Field Engineering for Agricultural Development. (Vol. First Zimbabwean edition).

Karabulut, M. & Ceylan, N. (2005). The Spectral reflectance responses of water with different levels of suspended sediment in the presence of algae. Turkish J. Eng. Env. Sci. 29, 351–360.

Kshitij Mishra and P. Rama Chandra Prasad. (2015). “Automatic Extraction of Water Bodies from Landsat Imagery Using Perceptron Model,” Journal of Computational Environmental Sciences, Article ID 903465, 9 pages, 2015. doi:10.1155/2015/903465

Lawrence, P., & Cascio, A. (2004). Sedimentation in Small Dams. HR Wallingford, UK: Hydrology and Drawdown Computation.

Liebe, J. (2002). Estimation of water storage capacity and evaporation losses of small reservoirs in the Upper East Region of Ghana, Diploma Thesis, Geography Department, Bonn University.

Mazvimazvi, D.; Kusangaya, S.; Williams, H.B. (2004) Assessment of surface water resources of Zimbabwe and guidelines for planning, unpublished document for Zimbabwe National Water Authority, Zimbabwe.

Mather, P. (2011). Computer processing of Remotely Sensed Images. An introduction. (4ta Edition ed.). Wiley and Sons. Chichester.

McFEETERS, S.K. (1996). The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17, pp.1425–1432.

Meigh, J. (1995). The impact of small farm reservoirs on urban water supplies in Botswana. Natural Resources Forum.

Mereuță (2015). Using LANDSAT images in mapping and monitoring water bodies in măgura basin. Aerul și Apa: Componente ale Mediului. Cluj University Press. 217-225. Consultado: 01/23/2015. DOI 10.17378/AWC2015_29. <https://doaj.org/article/1ff1c9d524a74b62b9256857412091d8>

Min Feng, Joseph O. Sexton, Saurabh Channan & John R. Townshend. (2016). A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic–spectral classification algorithm, *International Journal of Digital Earth*, 9:2, 113-133, DOI: 10.1080/17538947.2015.1026420

Mishra and Prasad (2015). Automatic Extraction of Water Bodies from Landsat Imagery Using Perceptron Model.

Mitchell, T. (1976). The yield of an average dam in Rhodesia. *Journal and Proceedings Zimbabwe Institution of Engineers*. Paper no. 179.

SAGARPA (2012). Presas con cortina de tierra compactada para abrevadero y pequeño riego.

SAGARPA (2009). Lineamientos operativos para el proyecto estratégico “Construcción de pequeñas obras hidráulicas” en el marco del componente de conservación y uso sustentable de suelo y agua, del programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria.

Saiz Rodríguez, J.A. (2016). Valoración de la respuesta hidrológica de la cuenca del río San Miguel, Sonora a distintos productos de precipitación. Tesis. Maestría en Ciencias en Geología. División de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Sonora.

Salinas Acosta, A. (2010). “Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (scall) en el sector agropecuario de costa rica y recomendaciones para su utilización”. Nicoya: Universidad Nacional: CEDEME.

Shelton, R., & Estes, J. (1981). Remote Sensing and Geographic Information Systems. An unrealised potential. *Geo-processing* 1.

Tang, Z.; Ou, W.; Dai, Y., and Xin, Y. (2013). Extraction of water body based on LandSat TM5 imagery—A case study in the Yangtze River. In: Li, D. and Chen, Y. (eds.), Computer and Computing Technologies in Agriculture VI: Proceedings of the 6th IFIP International Conference. Advances in Information and Communication Technology, Volume 393, pp. 416–420.

Turkish J. Eng. Env. Sci. 29 (2005). The Spectral Reflectance Responses of Water with Different Levels of Suspended Sediment in The Presence of Algae Murat KARABULUT Kahramanmara_s. Imam University, Department of Geography, Kahramanmara_s-TURKEY Nihal CEYLAN Turkish Ministry of Agriculture and Rural Affairs Agricultural Research Institute, Ankara-TURKEY Received 16.06.2005

Valencia Coronado, M. (2009). Análisis del efecto de la mejora en la distribución espacial de la precipitación en los elementos del balance de agua en la Cuenca del Río San Miguel, Sonora. Tesis de licenciatura. Departamento de Ingeniería Civil y Minas. División de Ingeniería. Universidad de Sonora.

Vega, G. E. (2011). Hidrogeología. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.

Wolf-Schumann, U., & Vallant, S. (1996). HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management. Germany.

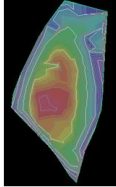

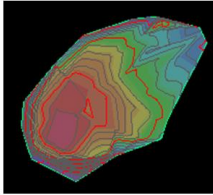

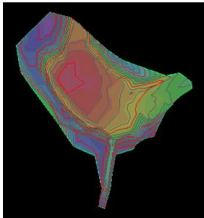

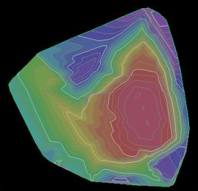

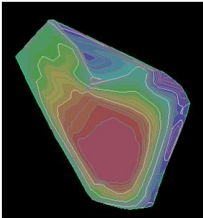

Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing, Taylor Taylor & Francis . Vol. 27, No. 14. Pp. 3025–3033

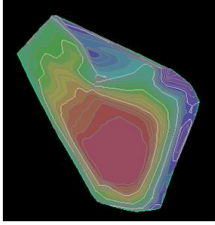

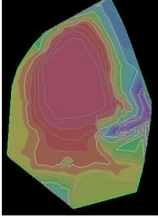

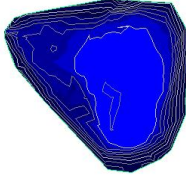

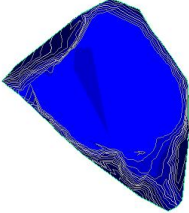

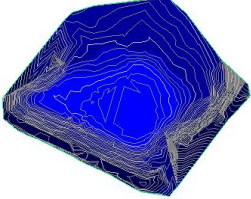

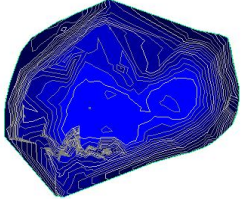

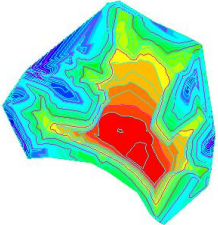

Zhu, Y., Camargo Neto, J.C., sf. Recognition of lakes from remotely sensed imagery. University of Nebraska – Lincoln - CSCE 896 Computational Aspects of GIS. - 6 p. Fecha de consulta: 21/01/2015

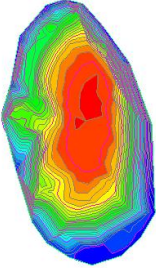

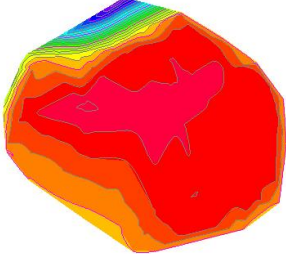

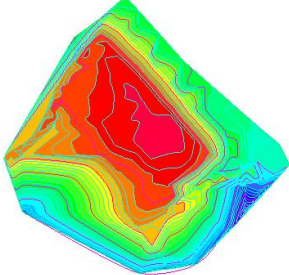

<http://pdfs.semanticscholar.org/c545/337f78746606f0efd1eb107be2a6f34f8f32.pdf>

VII. Anexos

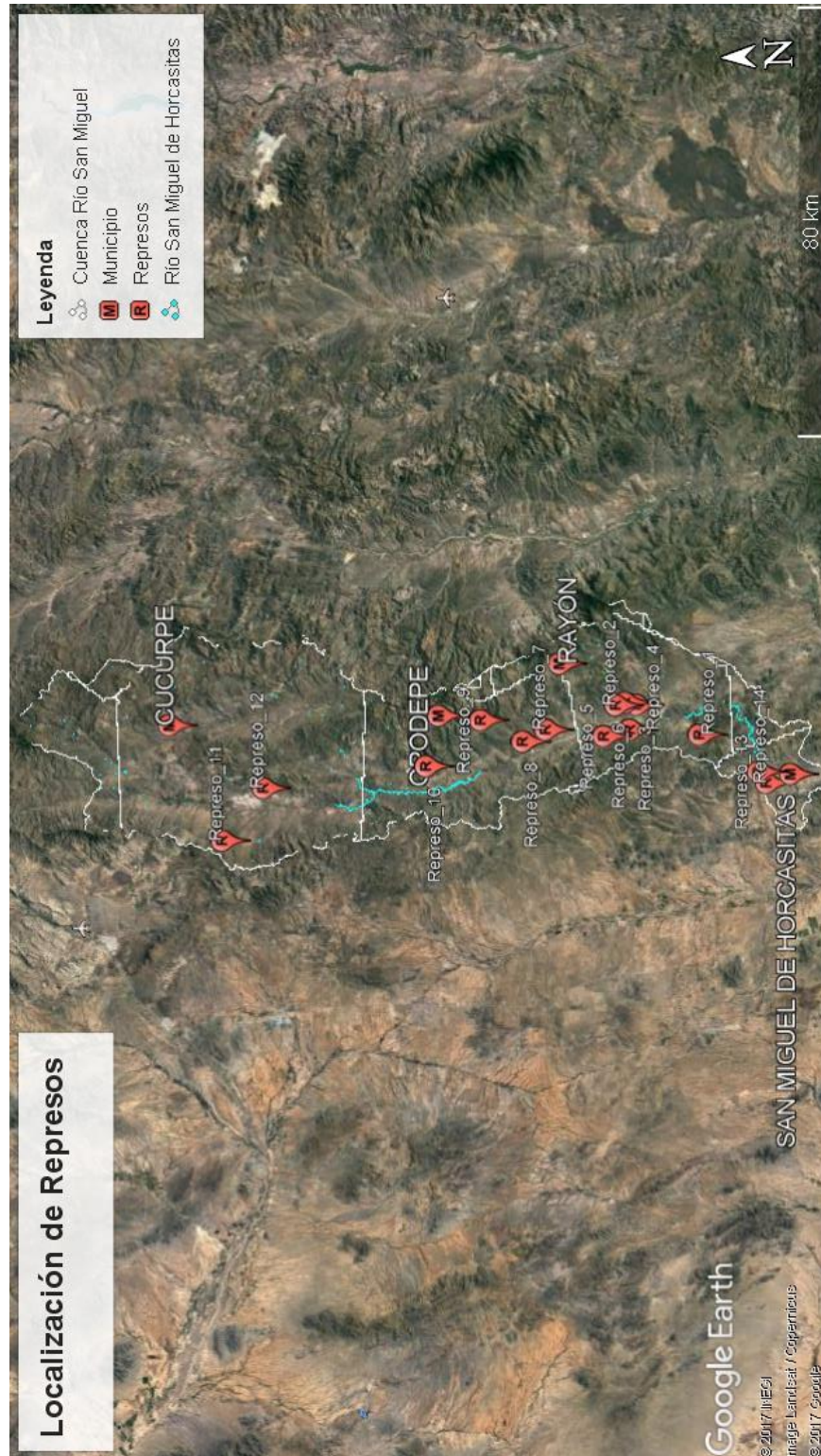
Anexo A. Bitácora de repesos estudiados

LOCALIZACIÓN DE REPESOS					
LIBRETA TOPOGRAFICA.					
EMPRESA:					
OBRA: REPESO 1					
EQUIPO TOPOGRAFICO:			PERSONAL:		
ESTACION TOTAL SOCKIA			DANIRA ADRIANA MARTINEZ GARCÍA		
VEHICULO:					
DOGDE RAM 2500, MODELO 2013					
No.	CODIGO	COORDENADAS.		IMAGEN DE REPESOS	FOTOS
		X	Y		
1	REPESO_1	537654.000	3274996.000		
2	REPESO_2	543582.000	3290056.000		
3	REPESO_3	543520.000	3286284.000		
4	REPESO_4	539021.000	3287695.000		
5	REPESO_5	538021.000	3292467.000		

5	REPRESO_5	538021.000	3292467.000		
6	REPRESO_6	544002.000	3288349.000		
7	REPRESO_7	539574.684	3302961.735		
8	REPRESO_8	5375562.662	3307217.303		
9	REPRESO_9	541717.275	3314719.282		
10	REPRESO_10	533714.453	3324886.280		
11	REPRESO_11	521529.482	3362173.820		

12	REPRESO_12	530818.555	3354399.973		
13	REPRESO_13	530477.142	3264420.337		
14	REPRESO_14	528362.456	3263021.971		

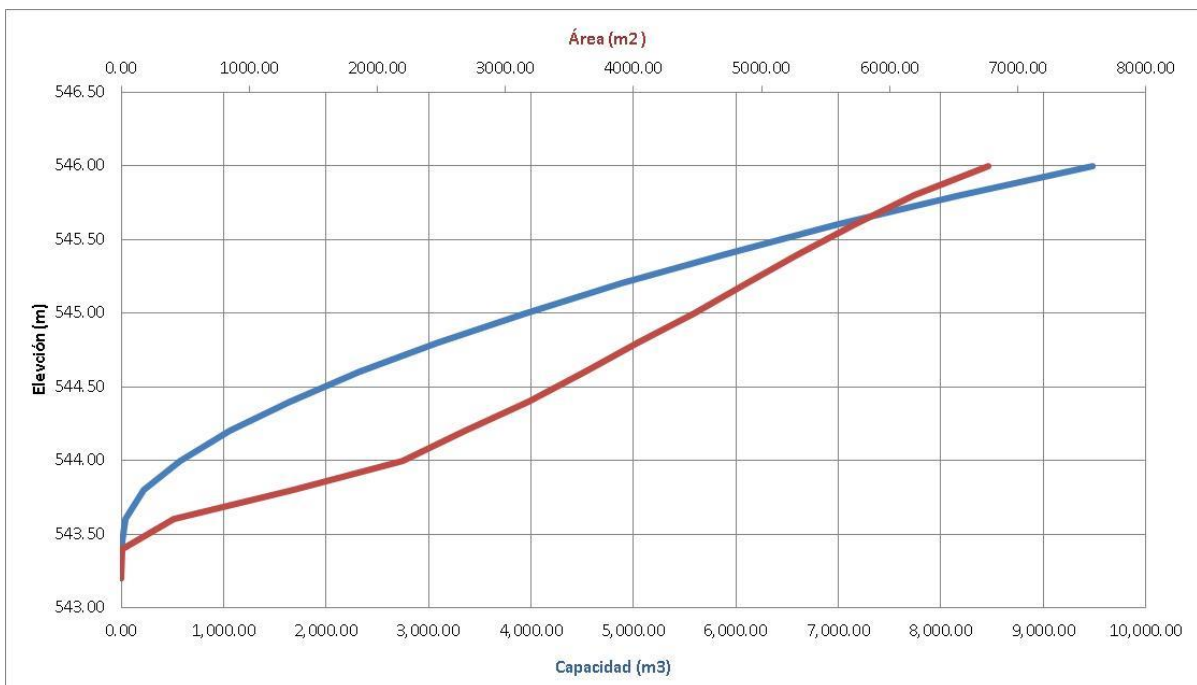
Anexo B. Localización en Google Earth de los represos



Anexo C. Curva Área-Elevación-Capacidades

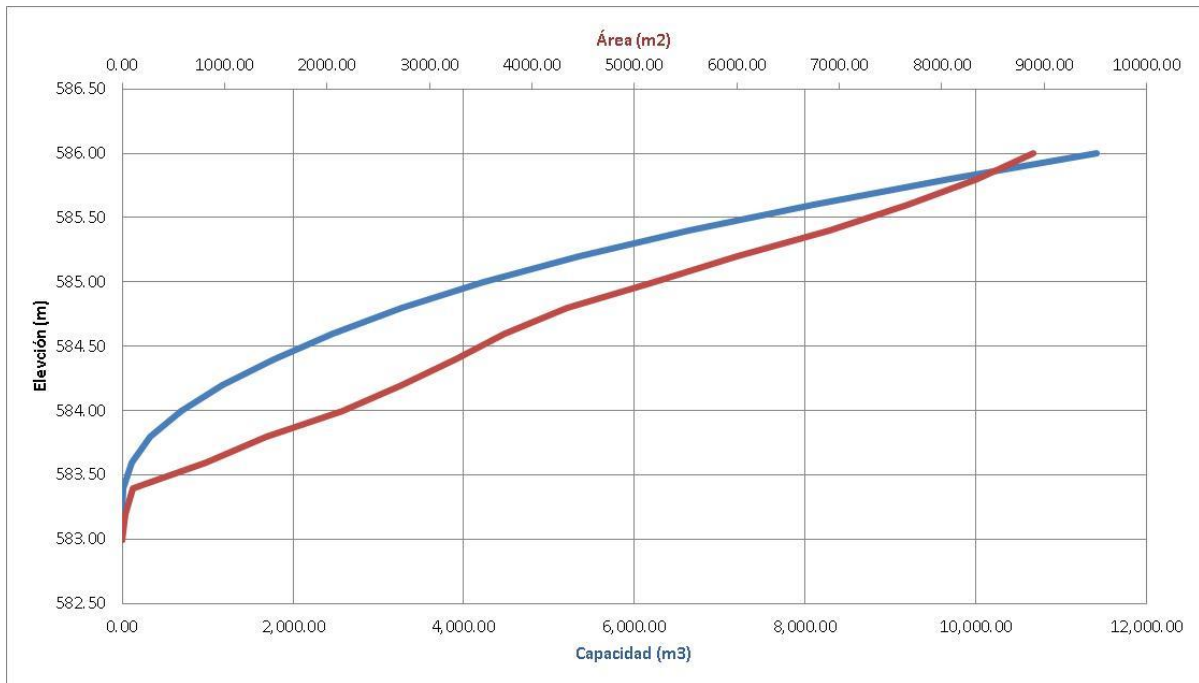
Reproso 1

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
543.20	0.00	0.00	0.00	0.00
543.40	5.63	2.82	0.56	0.56
543.60	412.69	209.16	41.83	42.40
543.80	1,342.93	877.81	175.56	217.96
544.00	2,195.14	1,769.04	353.81	571.76
544.20	2,688.02	2,441.58	488.32	1,060.08
544.40	3,181.18	2,934.60	586.92	1,647.00
544.60	3,621.05	3,401.11	680.22	2,327.22
544.80	4,035.65	3,828.35	765.67	3,092.89
545.00	4,471.09	4,253.37	850.67	3,943.57
545.20	4,883.49	4,677.29	935.46	4,879.02
545.40	5,280.86	5,082.18	1,016.43	5,895.46
545.60	5,733.15	5,507.00	1,101.40	6,996.86
545.80	6,187.60	5,960.38	1,192.08	8,188.93
546.00	6,765.57	6,476.59	1,295.32	9,484.25



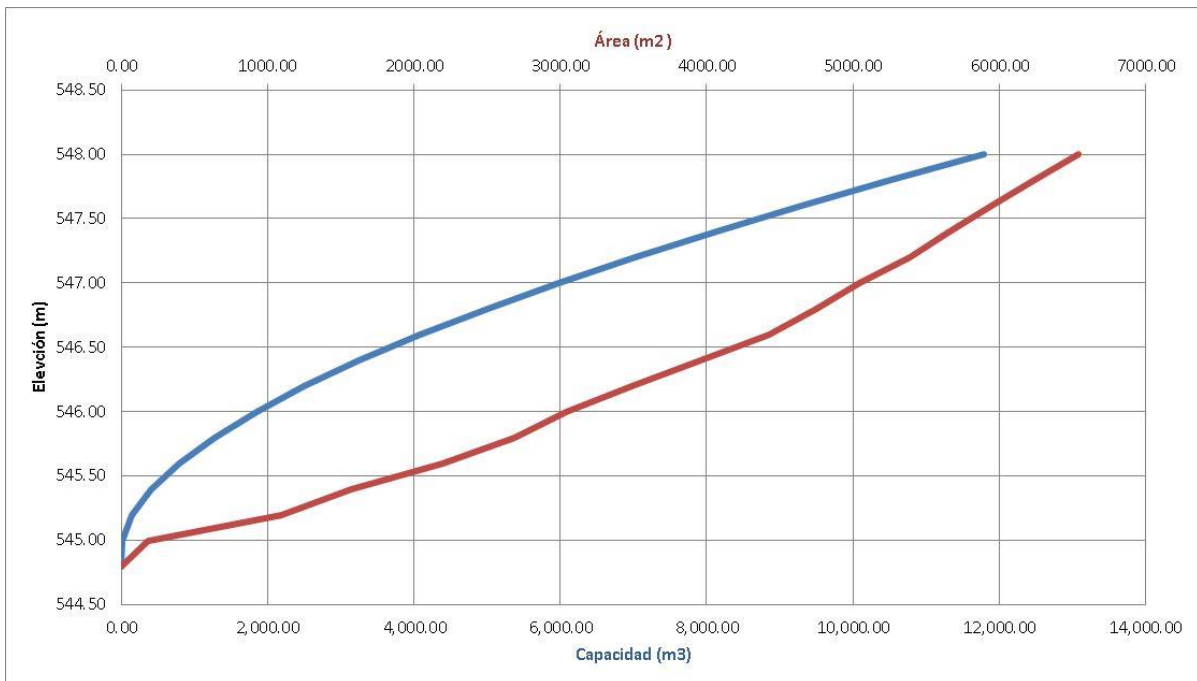
Represo 2

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
583.00	0.00	0.00	0.00	0.00
583.20	28.66	14.33	2.87	2.87
583.40	102.18	65.42	13.08	15.95
583.60	812.28	457.23	91.45	107.39
583.80	1,406.66	1,109.47	221.89	329.29
584.00	2,148.96	1,777.81	355.56	684.85
584.20	2,726.44	2,437.70	487.54	1,172.39
584.40	3,251.37	2,988.90	597.78	1,770.17
584.60	3,728.61	3,489.99	698.00	2,468.17
584.80	4,344.74	4,036.68	807.34	3,275.51
585.00	5,185.81	4,765.28	953.06	4,228.56
585.20	6,002.34	5,594.08	1,118.82	5,347.38
585.40	6,894.26	6,448.30	1,289.66	6,637.04
585.60	7,663.01	7,278.63	1,455.73	8,092.76
585.80	8,347.13	8,005.07	1,601.01	9,693.78
586.00	8,887.48	8,617.30	1,723.46	11,417.24



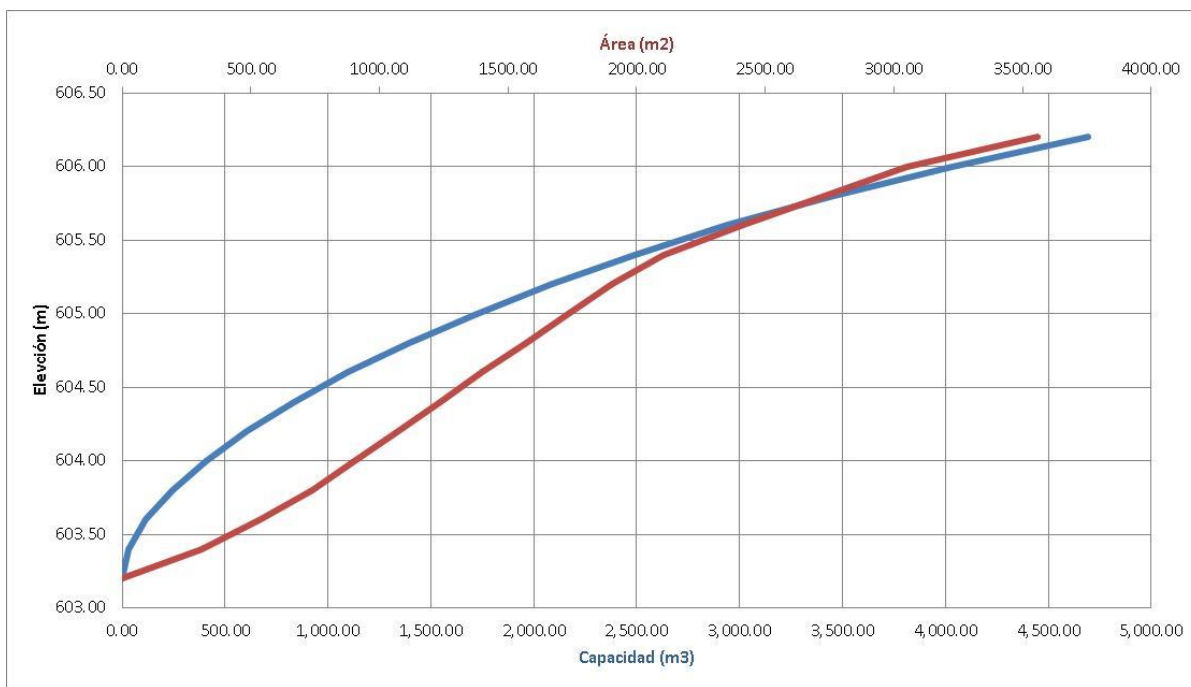
Represo 3

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
544.80	0.00	0.00	0.00	0.00
545.00	185.68	92.84	18.57	18.57
545.20	1,095.85	640.76	128.15	146.72
545.40	1,569.17	1,332.51	266.50	413.22
545.60	2,191.31	1,880.24	376.05	789.27
545.80	2,684.58	2,437.95	487.59	1,276.86
546.00	3,038.11	2,861.35	572.27	1,849.13
546.20	3,483.76	3,260.94	652.19	2,501.32
546.40	3,955.71	3,719.74	743.95	3,245.26
546.60	4,422.50	4,189.11	837.82	4,083.08
546.80	4,749.69	4,586.10	917.22	5,000.30
547.00	5,042.42	4,896.06	979.21	5,979.51
547.20	5,387.24	5,214.83	1,042.97	7,022.48
547.40	5,662.49	5,524.86	1,104.97	8,127.45
547.60	5,943.04	5,802.76	1,160.55	9,288.01
547.80	6,237.51	6,090.27	1,218.05	10,506.06
548.00	6,539.63	6,388.57	1,277.71	11,783.77



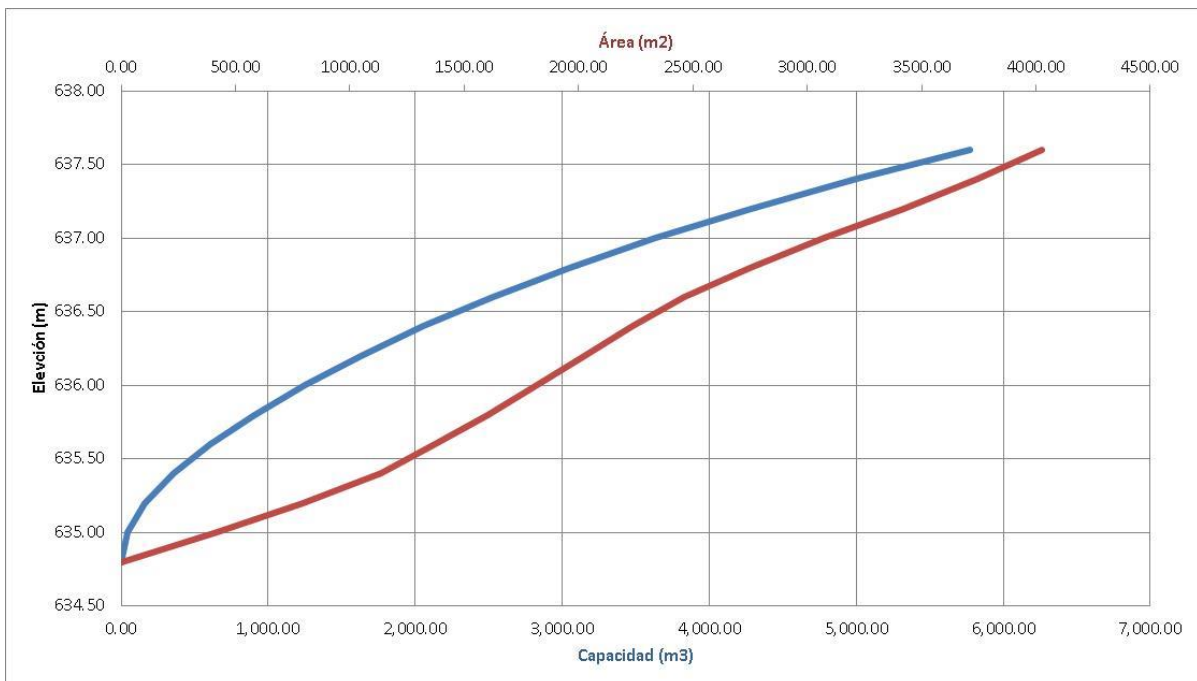
Represo 4

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
603.20	0.00	0.00	0.00	0.00
603.40	306.89	153.45	30.69	30.69
603.60	537.78	422.34	84.47	115.16
603.80	738.07	637.93	127.59	242.74
604.00	899.75	818.91	163.78	406.52
604.20	1,070.87	985.31	197.06	603.59
604.40	1,234.42	1,152.64	230.53	834.12
604.60	1,398.87	1,316.65	263.33	1,097.44
604.80	1,569.84	1,484.35	296.87	1,394.32
605.00	1,731.84	1,650.84	330.17	1,724.48
605.20	1,903.01	1,817.42	363.48	2,087.97
605.40	2,103.90	2,003.46	400.69	2,488.66
605.60	2,411.94	2,257.92	451.58	2,940.24
605.80	2,729.03	2,570.49	514.10	3,454.34
606.00	3,047.37	2,888.20	577.64	4,031.98
606.20	3,559.00	3,303.19	660.64	4,692.62



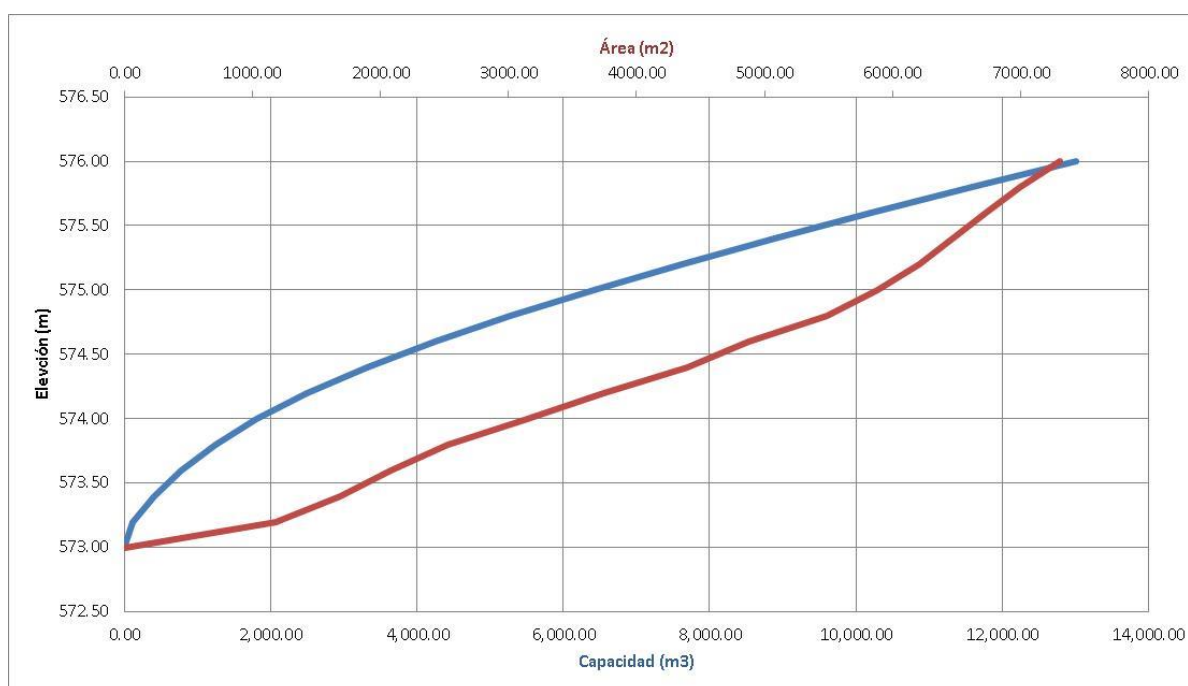
Represo 5

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
634.80	0.00	0.00	0.00	0.00
635.00	418.56	209.28	41.86	41.86
635.20	794.92	606.74	121.35	163.20
635.40	1,135.50	965.21	193.04	356.25
635.60	1,372.09	1,253.79	250.76	607.00
635.80	1,602.14	1,487.12	297.42	904.43
636.00	1,817.88	1,710.01	342.00	1,246.43
636.20	2,023.46	1,920.67	384.13	1,630.56
636.40	2,235.63	2,129.54	425.91	2,056.47
636.60	2,460.14	2,347.89	469.58	2,526.05
636.80	2,749.03	2,604.59	520.92	3,046.97
637.00	3,074.51	2,911.77	582.35	3,629.32
637.20	3,418.19	3,246.35	649.27	4,278.59
637.40	3,745.66	3,581.92	716.38	4,994.97
637.60	4,024.48	3,885.07	777.01	5,771.99



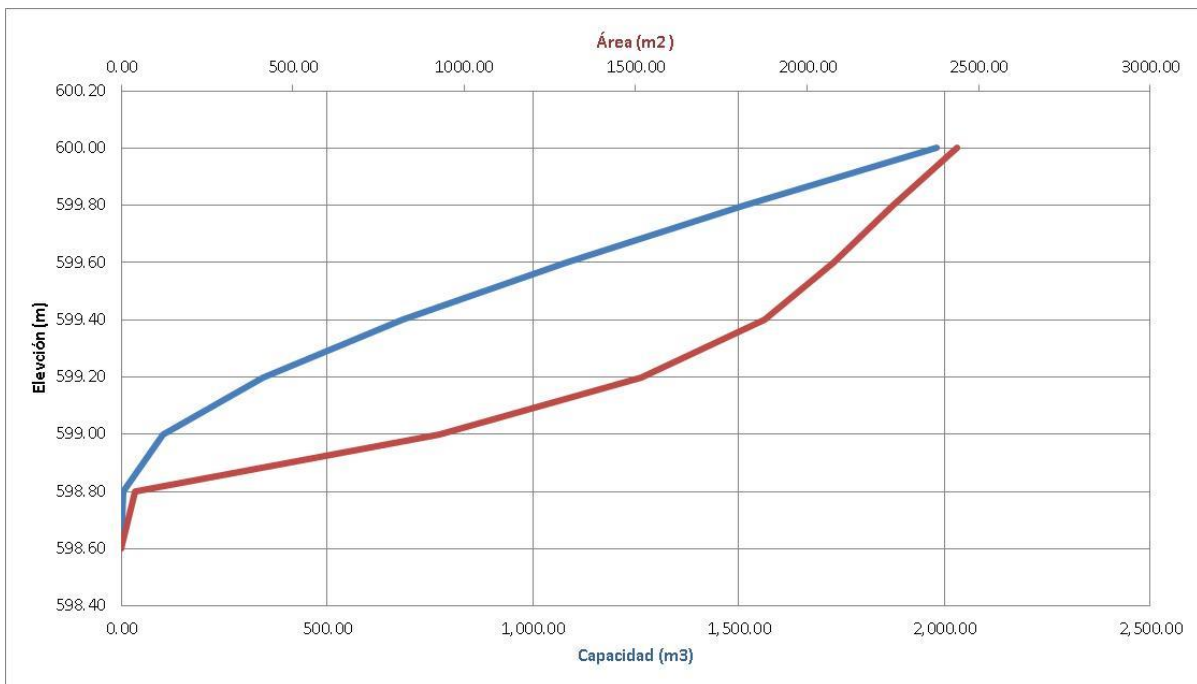
Represo 6

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
573.00	0.00	0.00	0.00	0.00
573.20	1,183.29	591.65	118.33	118.33
573.40	1,686.09	1,434.69	286.94	405.27
573.60	2,082.75	1,884.42	376.88	782.15
573.80	2,521.43	2,302.09	460.42	1,242.57
574.00	3,142.54	2,831.98	566.40	1,808.96
574.20	3,739.78	3,441.16	688.23	2,497.20
574.40	4,394.00	4,066.89	813.38	3,310.57
574.60	4,870.59	4,632.29	926.46	4,237.03
574.80	5,485.56	5,178.08	1,035.62	5,272.65
575.00	5,883.10	5,684.33	1,136.87	6,409.51
575.20	6,210.43	6,046.77	1,209.35	7,618.87
575.40	6,467.67	6,339.05	1,267.81	8,886.68
575.60	6,723.95	6,595.81	1,319.16	10,205.84
575.80	6,992.93	6,858.44	1,371.69	11,577.53
576.00	7,306.71	7,149.82	1,429.96	13,007.49



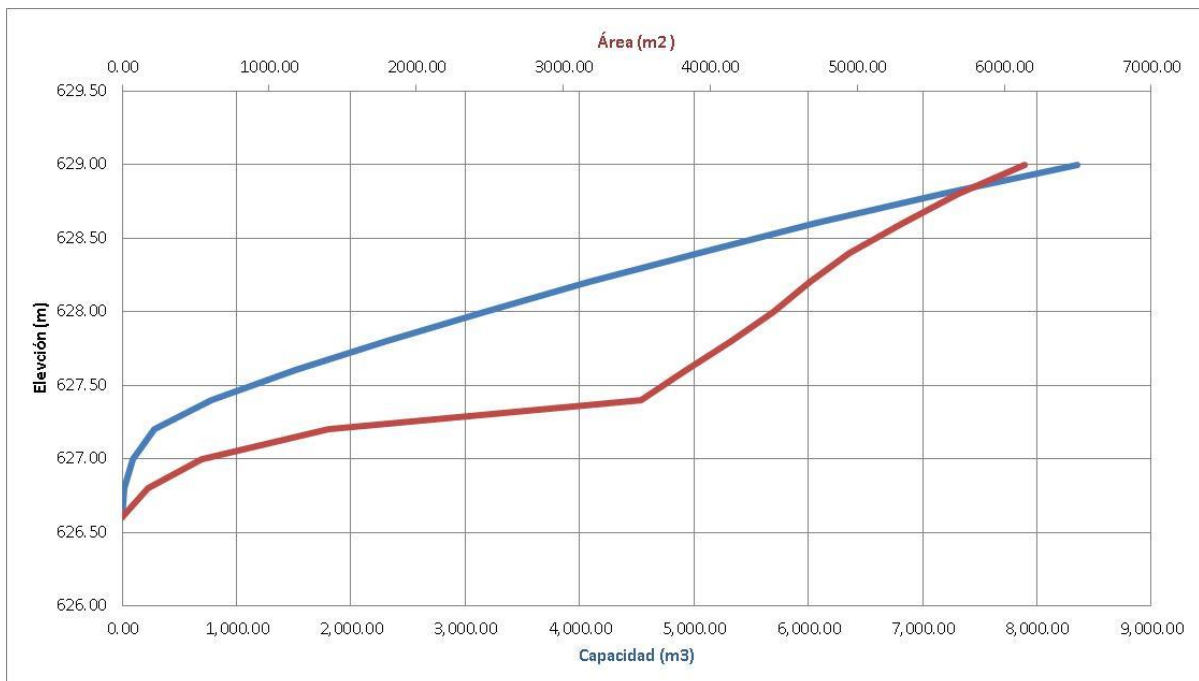
Represo 7

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
598.60	0.00	0.00	0.00	0.00
598.80	39.88	19.94	3.99	3.99
599.00	925.84	482.86	96.57	100.56
599.20	1,517.14	1,221.49	244.30	344.86
599.40	1,875.95	1,696.55	339.31	684.17
599.60	2,076.23	1,976.09	395.22	1,079.38
599.80	2,249.69	2,162.96	432.59	1,511.98
600.00	2,435.81	2,342.75	468.55	1,980.53



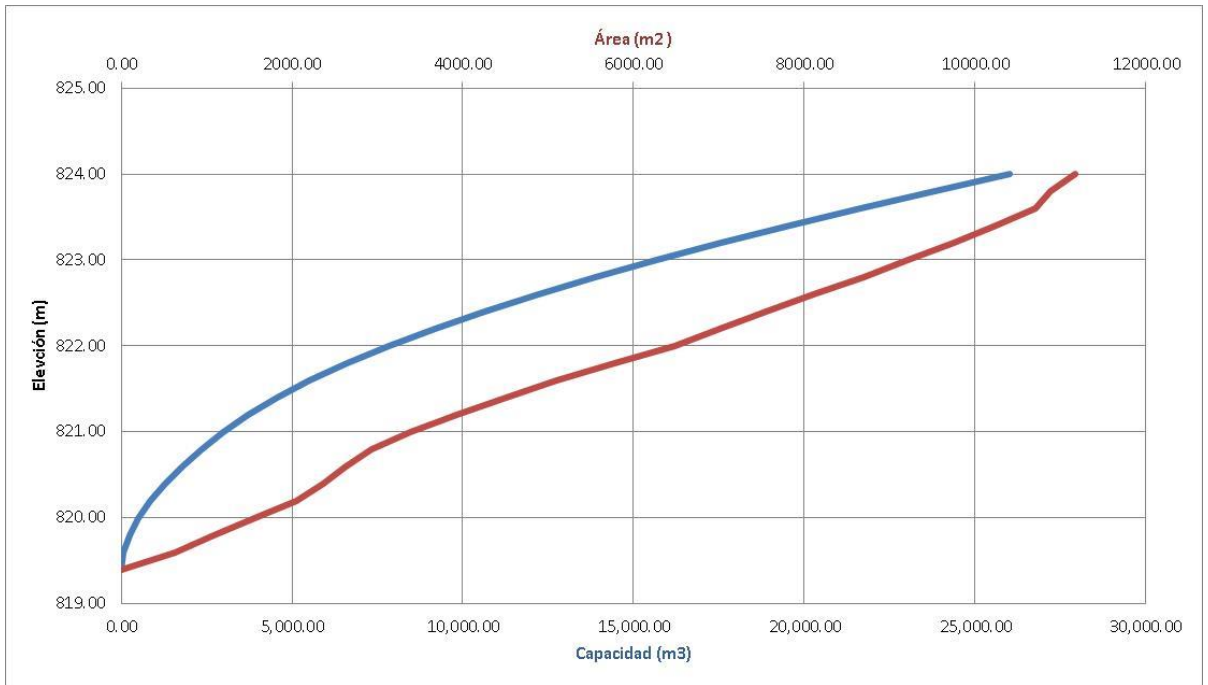
Reproso 8

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
626.60	0.00	0.00	0.00	0.00
626.80	176.13	88.06	17.61	17.61
627.00	537.56	356.84	71.37	88.98
627.20	1,404.42	970.99	194.20	283.18
627.40	3,528.79	2,466.60	493.32	776.50
627.60	3,838.04	3,683.41	736.68	1,513.18
627.80	4,144.42	3,991.23	798.25	2,311.43
628.00	4,429.59	4,287.01	857.40	3,168.83
628.20	4,678.28	4,553.93	910.79	4,079.62
628.40	4,950.14	4,814.21	962.84	5,042.46
628.60	5,311.89	5,131.01	1,026.20	6,068.66
628.80	5,688.48	5,500.19	1,100.04	7,168.70
629.00	6,136.21	5,912.35	1,182.47	8,351.17



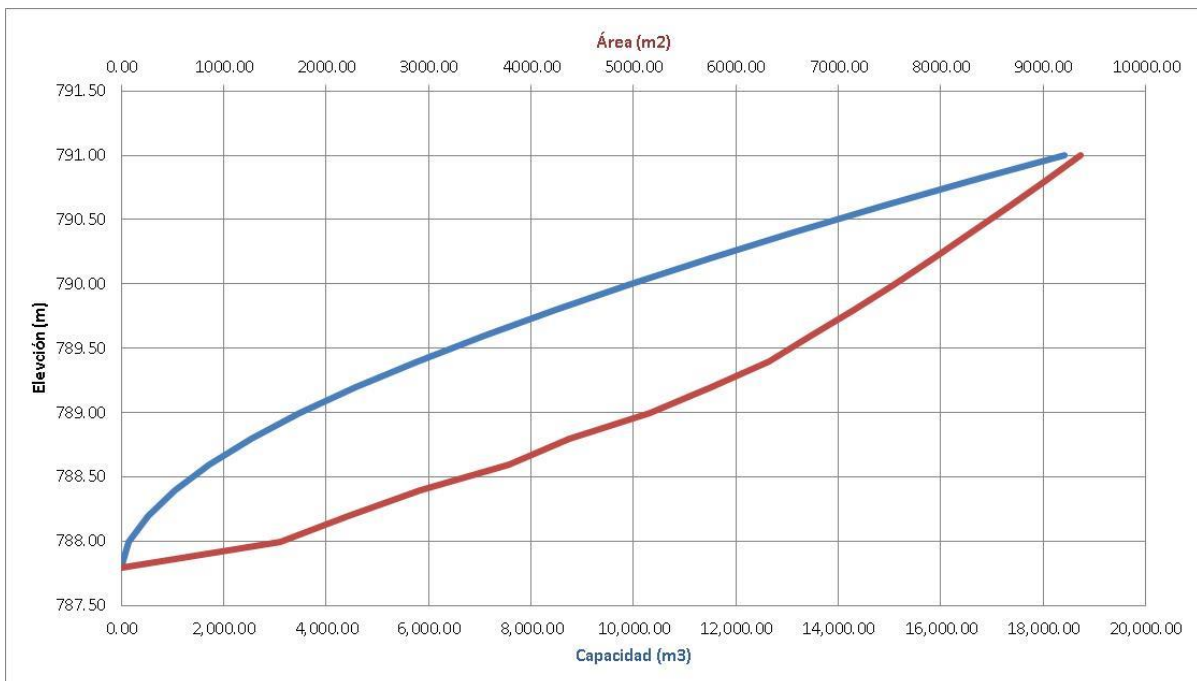
Represo 9

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
819.40	0.00	0.00	0.00	0.00
819.60	625.29	312.64	62.53	62.53
819.80	1,083.23	854.26	170.85	233.38
820.00	1,562.59	1,322.91	264.58	497.96
820.20	2,044.43	1,803.51	360.70	858.67
820.40	2,362.13	2,203.28	440.66	1,299.32
820.60	2,626.10	2,494.12	498.82	1,798.14
820.80	2,928.43	2,777.26	555.45	2,353.60
821.00	3,387.65	3,158.04	631.61	2,985.20
821.20	3,927.46	3,657.55	731.51	3,716.72
821.40	4,497.88	4,212.67	842.53	4,559.25
821.60	5,090.73	4,794.31	958.86	5,518.11
821.80	5,768.88	5,429.81	1,085.96	6,604.07
822.00	6,483.34	6,126.11	1,225.22	7,829.29
822.20	7,003.14	6,743.24	1,348.65	9,177.94
822.40	7,548.56	7,275.85	1,455.17	10,633.11
822.60	8,101.34	7,824.95	1,564.99	12,198.10
822.80	8,688.40	8,394.87	1,678.97	13,877.08
823.00	9,210.76	8,949.58	1,789.92	15,666.99
823.20	9,750.91	9,480.84	1,896.17	17,563.16
823.40	10,237.62	9,994.26	1,998.85	19,562.01
823.60	10,714.07	10,475.84	2,095.17	21,657.18
823.80	10,888.64	10,801.35	2,160.27	23,817.45
824.00	11,177.71	11,033.18	2,206.63	26,024.09



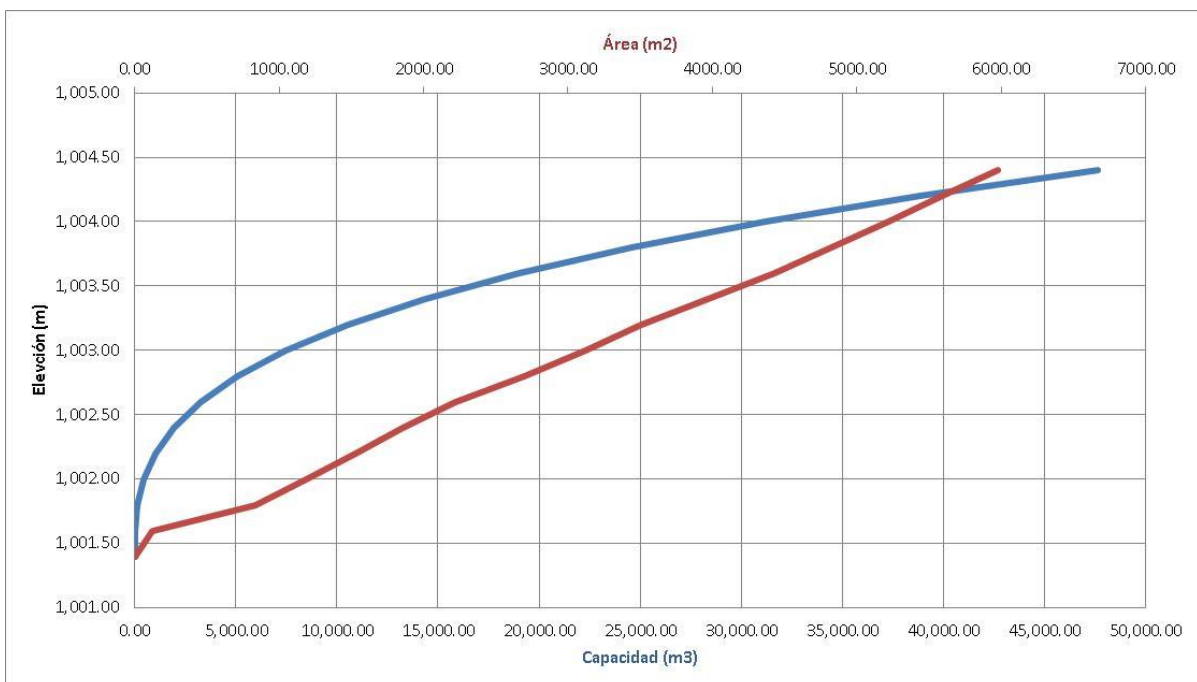
Reproso 10

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
787.80	0.00	0.00	0.00	0.00
788.00	1,547.71	773.85	154.77	154.77
788.20	2,215.05	1,881.38	376.28	531.05
788.40	2,910.29	2,562.67	512.53	1,043.58
788.60	3,782.74	3,346.52	669.30	1,712.88
788.80	4,370.64	4,076.69	815.34	2,528.22
789.00	5,154.80	4,762.72	952.54	3,480.77
789.20	5,756.48	5,455.64	1,091.13	4,571.89
789.40	6,319.91	6,038.19	1,207.64	5,779.53
789.60	6,732.25	6,526.08	1,305.22	7,084.75
789.80	7,148.17	6,940.21	1,388.04	8,472.79
790.00	7,548.94	7,348.56	1,469.71	9,942.50
790.20	7,926.63	7,737.79	1,547.56	11,490.06
790.40	8,290.13	8,108.38	1,621.68	13,111.73
790.60	8,656.50	8,473.32	1,694.66	14,806.40
790.80	9,019.50	8,838.00	1,767.60	16,574.00
791.00	9,366.92	9,193.21	1,838.64	18,412.64



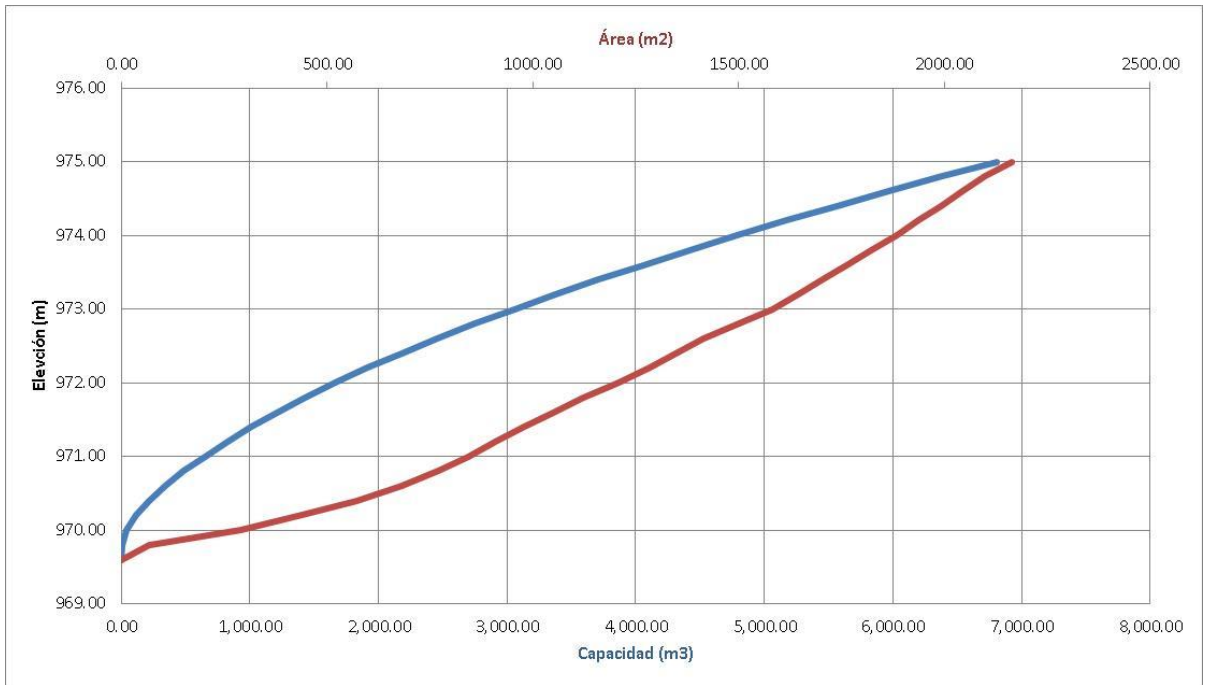
Represo 11

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
1,001.40	0.00	0.00	0.00	0.00
1,001.60	123.84	61.92	12.38	12.38
1,001.80	832.71	540.20	108.04	120.42
1,002.00	1,181.55	1,547.33	309.47	429.89
1,002.20	1,528.63	2,902.42	580.48	1,010.37
1,002.40	1,852.40	4,592.93	918.59	1,928.96
1,002.60	2,216.96	6,627.61	1,325.52	3,254.48
1,002.80	2,694.28	9,083.23	1,816.65	5,071.13
1,003.00	3,119.77	11,990.26	2,398.05	7,469.18
1,003.20	3,506.21	15,303.25	3,060.65	10,529.83
1,003.40	3,963.64	19,038.17	3,807.63	14,337.46
1,003.60	4,431.05	23,235.52	4,647.10	18,984.57
1,003.80	4,825.29	27,863.69	5,572.74	24,557.31
1,004.00	5,217.18	32,884.92	6,576.98	31,134.29
1,004.20	5,588.50	38,287.76	7,657.55	38,791.84
1,004.40	5,972.68	44,068.35	8,813.67	47,605.51



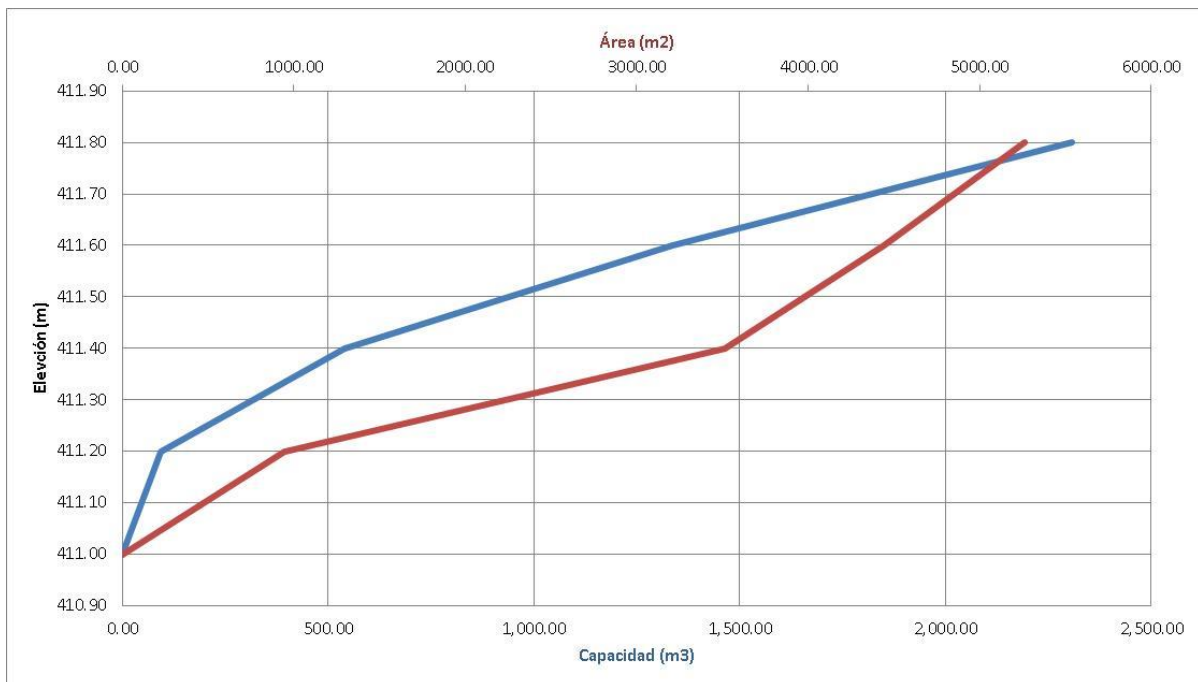
Represo 12

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
969.60	0.00	0.00	0.00	0.00
969.80	67.39	33.70	6.74	6.74
970.00	288.40	177.90	35.58	42.32
970.20	438.79	363.59	72.72	115.04
970.40	570.26	504.53	100.91	215.94
970.60	680.85	625.56	125.11	341.05
970.80	770.85	725.85	145.17	486.22
971.00	842.80	806.83	161.37	647.59
971.20	908.82	875.81	175.16	822.75
971.40	978.26	943.54	188.71	1,011.46
971.60	1,049.85	1,014.05	202.81	1,214.27
971.80	1,122.29	1,086.07	217.21	1,431.48
972.00	1,208.91	1,165.60	233.12	1,664.60
972.20	1,282.72	1,245.81	249.16	1,913.77
972.40	1,347.14	1,314.93	262.99	2,176.75
972.60	1,413.60	1,380.37	276.07	2,452.83
972.80	1,500.61	1,457.11	291.42	2,744.25
973.00	1,580.38	1,540.50	308.10	3,052.35
973.20	1,644.20	1,612.29	322.46	3,374.80
973.40	1,704.00	1,674.10	334.82	3,709.62
973.60	1,762.90	1,733.45	346.69	4,056.31
973.80	1,821.12	1,792.01	358.40	4,414.72
974.00	1,883.67	1,852.39	370.48	4,785.19
974.20	1,936.00	1,909.84	381.97	5,167.16
974.40	1,990.63	1,963.32	392.66	5,559.82
974.60	2,043.60	2,017.11	403.42	5,963.25
974.80	2,098.85	2,071.22	414.24	6,377.49
975.00	2,163.96	2,131.41	426.28	6,803.77



Represo 13

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
411.00	0.00	0.00	0.00	0.00
411.20	946.48	473.24	94.65	94.65
411.40	3,513.15	2,229.81	445.96	540.61
411.60	4,442.61	3,977.88	795.58	1,336.19
411.80	5,262.29	4,852.45	970.49	2,306.68



Reproso 14

Elevación	Área parcial	Área Promedio	Volumen parcial	Volumen acumulado
m	m ²	m ²	m ³	m ³
396.20	0.00	0.00	0.00	0.00
396.40	217.14	108.57	21.71	21.71
396.60	581.15	399.15	79.83	101.54
396.80	872.38	726.77	145.35	246.90
397.00	1,224.32	1,048.35	209.67	456.57
397.20	1,468.41	1,346.36	269.27	725.84
397.40	1,696.91	1,582.66	316.53	1,042.37
397.60	1,908.56	1,802.73	360.55	1,402.92
397.80	2,129.68	2,019.12	403.82	1,806.74
398.00	2,286.00	2,207.84	441.57	2,248.31
398.20	2,425.06	2,355.53	471.11	2,719.42
398.40	2,561.34	2,493.20	498.64	3,218.06
398.60	2,701.50	2,631.42	526.28	3,744.34
398.80	2,834.19	2,767.85	553.57	4,297.91
399.00	3,126.12	2,980.16	596.03	4,893.94

