



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

T E S I S

**HUMEDALES ARTIFICIALES COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO
DEL AGUA EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C., MÉXICO.**

CASO DE ESTUDIO: Vinícola Clòs de Tres Cantos.

Tesis presentada por:

Alejandra Cota Siqueiros

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Ensenada, B.C., México.

Junio 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIDAD ENSENADA



HUMEDALES ARTIFICIALES COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL
AGUA EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C., MÉXICO.

CASO DE ESTUDIO: Vinícola Clos de Tres Cantos

TESIS QUE PRESENTA

Alejandra Cota Siqueiros

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

Aprobada por:

Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal

Directora de Tesis

Dra. Claudia Rivera Torres

Co-Directora de Tesis

Dr. José Rubén Campos Gaytán

Sinodal

Dr. Julio Enrique Valencia Suárez

Sinodal

Ensenada Baja California, México. Junio 2021.



AGRADECIMIENTO

La autora desea expresar su más sincero agradecimiento a todos los integrantes de este comité de tesis por su colaboración, tiempo y paciencia en la preparación de este manuscrito.

Al programa CONACYT por su invaluable apoyo con la beca de maestría. A la Fundación Río Arronte por apoyar esta tesis con los proyectos A-347 “Formulación y Adopción de un Plan de Manejo para la Cuenca Guadalupe, Ensenada Baja California” y A-447 “Adopción de un Programa de Co-gestión de la Microcuenca Valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California”. Esta tesis se suma a uno de los componentes de los observatorios participativos de zonas áridas de la Red Internacional de Sustentabilidad de las Zonas Áridas (RISZA) con el proyecto CONACYT PN-2017_5036 "Observatorio participativo para la protección de la diversidad cultural y biótica de zonas áridas. Etapa I: Estado de arte del proceso de desertificación y diagnóstico sobre sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos de México" así como la revisión de la propuesta técnica por parte del Dr. Víctor Manuel Reyes Gómez del INECOL y miembro del consejo técnico académico de RISZA. Asimismo, al programa MEZA de la Facultad de Ciencias de la UABC por haberme brindado una experiencia enriquecedora y probar que nunca es demasiado tarde para desarrollar un posgrado.

A María Benítez y Joaquín Moya por su apoyo, paciencia y espíritu aventurero dando la oportunidad de experimentar en su propiedad.

Además, manifiesto un agradecimiento especial a la Dra. Claudia Leyva, M.C. Patricia Aceves, Dr. Ricardo Eaton y arquitectos Iván Guerra y Kevin Alejandro Orozco, por su asesoramiento en tareas, dudas, creatividad y visión en temas completamente abstractos a mi formación.

Gracias a mi familia, ya que sin ellos no estaría culminando esta etapa de vida. Finalmente, gracias a todos mis compañeros de generación por su apoyo incondicional, aportes de expertise y gran compañerismo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>AGRADECIMIENTO</u>	<u>3</u>
<u>TABLA DE CONTENIDO</u>	<u>4</u>
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	<u>7</u>
<u>LISTA DE FOTOGRAFÍAS</u>	<u>11</u>
<u>LISTA DE TABLAS</u>	<u>12</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>14</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>15</u>
<u>1 INTRODUCCIÓN</u>	<u>16</u>
1.1 DEFINICIÓN DE HUMEDAL NATURAL	17
1.1.1 Clasificación de los Humedales Naturales	18
1.1.2 Valor de los Humedales Naturales	20
1.2 DEFINICIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL	22
1.2.1 Antecedentes y Aplicabilidad de los Humedales Artificiales	23
1.2.2 Uso de Humedales Artificiales en México	24
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.3.1 Objetivo General:	32
1.3.2 Objetivos Específicos:	32
<u>2 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS</u>	<u>33</u>
2.1 DESCRIPCION ESPACIAL DEL VALLE DE GUADALUPE UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	34
2.1.1 Construcción del SIG para la Localización y Clasificación de Cuerpos de Agua Dulce Semejantes a Humedales	35

2.1.2	Descripción Espacial del Caso de Estudio Usando Sistemas de Información Geográfica	40
2.2	TIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL: CRITERIOS DE SELECCIÓN	42
2.3	METODOLOGÍA GENERAL PARA ELABORAR EL PLANO PAISAJISTA DEL CASO DE ESTUDIO	45
2.3.1	Elaboración del Plano del Sitio	45
2.3.2	Análisis del Sitio	46
2.3.3	Metodología para la Obtención de Datos Cualitativos	48
2.3.4	Diagrama de Relaciones	49
2.4	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: CRITERIOS DE SELECCIÓN	49
2.5	METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	52
<u>3</u>	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	<u>53</u>
3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA VITIVINÍCOLA DEL VALLE DE GUADALUPE	53
3.1.1	Inventario de Cuerpos de Agua Dulce Semejantes a Humedales	55
3.2	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO: VITIVINÍCOLA CLÒS DE TRES CANTOS	58
3.1	TIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL: CRITERIOS DE SELECCIÓN	66
3.3	PLANO PAISAJISTA	69
3.3.1	Plano del Sitio	69
3.3.2	Análisis del Sitio	74
3.3.3	Diagrama de relaciones: Propuestas de diseño	86
3.3.4	Propuesta 1, Humedal Subsuperficial Híbrido Sin Acceso al Público en General	93
3.3.5	Propuesta 2: Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical con Acceso al Público en General	95
3.3.6	Propuesta 3. Humedal Subsuperficial de Flujo Híbrido con Columna de Agua.	97
<u>4</u>	<u>PROPUESTA DE MANEJO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL</u>	<u>100</u>
4.1	CONSTRUCCIÓN	100

4.1.1	Costos	101
4.2	BALANCE DEL SOCIO-ECOSISTEMA	104
4.2.1	Vegetación	105
4.2.2	Nutrientes	106
4.2.3	Fauna Silvestre	107
4.2.4	Microbios	107
4.2.5	Actividades Antrópicas	108
4.2.5.1	<i>Conservación del agua</i>	109
4.2.5.2	<i>Promoción de Buenas Prácticas de Manejo del Agua</i>	109
4.2.5.3	<i>Educación Ambiental</i>	109
4.2.5.4	<i>Promoción de Ecoturismo</i>	110
4.3	MANTENIMIENTO	110
4.3.1	Calidad de agua	111
4.3.2	Vegetación	112
4.3.3	Fauna Silvestre	116
4.3.4	Tareas Operativas del Sistema de Distribución Hídrica	117
5	<u>CONCLUSIONES</u>	118
	<u>REFERENCIAS</u>	124
	<u>ANEXOS</u>	129
	ANEXO 1. INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA DEL VALLE DE GUADALUPE.	130
	ANEXO 2. CATÁLOGO DE VEGETACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO: CLÒS DE TRES CANTOS	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación jerárquica de humedales y hábitat de agua profunda mostrando sistemas en la primera jerarquización, subsistemas en la segunda y clases en la tercera (Cowardin, Carter, Golet, & LaRoe, 1979). El sistema palustre, no incluye un hábitat de agua profunda, por lo que se le denomina sin clase y tipo de humedal en la que se enfoca este estudio.....	19
Figura 2. Resumen de criterios a considerar en el diseño y establecimiento de un humedal artificial (Wu, et al., 2015).....	23
Figura 3. Mapa conceptual del planteamiento del problema, donde el humedal artificial se abrevia como HA; elaboración propia.	31
Figura 4. Diagrama del proceso de desarrollo del proyecto por etapas (HA: humedal artificial); elaboración propia.....	33
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo del proyecto enfocado en la obtención de resultados para cada objetivo específico. Elaboración propia de esquema, dibujos e ilustraciones. Fotografía propia. Imagen de satélite obtenida de la plataforma Global Visualization Viewer.....	34
Figura 6. Mapa metodológico para el desarrollo del primer objetivo específico (Inventariar y clasificar los cuerpos de agua dulce en existencia en el Valle de Guadalupe semejantes a humedales), la descripción geográfica del segundo objetivo específico (Seleccionar y describir el caso de estudio: Clòs de Tres Cantos) y los productos esperados. Elaboración propia.	36
Figura 7. Diagrama de flujo para elaborar un mapa con la ubicación geográfica de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe dentro de la cuenca hidrológica administrativa correspondiente en el estado de Baja California. Elaboración propia.	37
Figura 8. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8-OLI para la obtención de productos descriptivos de la zona de interés. Elaboración propia.....	37
Figura 9. Proceso general utilizado para generar los sistemas de información geográfica del Valle de Guadalupe, el caso de estudio y los productos esperados para la visualización	

del primer objetivo específico (Inventariar y clasificar los cuerpos de agua dulce en existencia en el Valle de Guadalupe semejantes a humedales). Elaboración propia.....	39
Figura 10. Diagrama de flujo para el análisis de terreno e hidrológico del caso de estudio que satisface el segundo objetivo específico (Seleccionar y describir el caso de estudio: vinícola Clòs de Tres Cantos). Elaboración propia.....	41
Figura 11. Diagrama de flujo para la toma decisión para el tipo de humedal artificial que se puede implementar en un sitio con base en su disponibilidad de recurso hídrico y extensión territorial (Wu, et al., 2015). Elaboración propia.	44
Figura 12. Estrategia metodológica para la elaboración del plano paisajista de acuerdo a Miller, (2008). Elaboración propia.	45
Figura 13. Determinación general del tipo de suelo y la velocidad de sedimentación del sitio utilizando técnicas edafológicas comúnmente usadas en jardinería (Miller, 2008).	47
Figura 14. Metodología de la técnica de campo edafológica para medir el tiempo de infiltración de un suelo (Miller, 2008). Elaboración propia.	47
Figura 15. Metodología de la investigación cualitativa (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).	48
Figura 16. Proceso de selección de tipo de vegetación acuática a considerar según el tipo de humedal artificial. Elaboración propia basado en criterios según Hoffman, Platzer, Winker y von Muench (2011).	51
Figura 17. Mapa que muestra la Región Hidrológica 1, donde se muestra ubicada la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe dentro de la cuenca Guadalupe. Datos tomados de cartas hidrográficas digitales escala 1 : 250, 000 y datos vectoriales de (INEGI, 2017). Elaboración propia.	54
Figura 18. Descripción geográfica con magnificación de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe incluyente de inventario de cuerpos de agua dulce; identificados por fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat/Copernicus del 2015 y complementados con cartas topográficas y MDE de INEGI e imagen de satélite Landsat 8 2019 de GloVis-USGS.....	57
Figura 19. Localización del sitio del humedal artificial dentro de la propiedad Rancho Santa Lucía. Los límites de la propiedad, se encuentran marcados con líneas en color naranja. El polígono azul se refiere a la zona de influencia directa del humedal artificial. Elaboración propia utilizando imágenes de satélite de Google Earth.....	60

Figura 20. Mapa de localización del caso de estudio dentro de la propiedad de Rancho Santa Lucia en valle de Guadalupe, B.C. México. Se observan elementos hidrológicos de relevancia tales como escurrimientos de agua superficial, ubicación del pozo, noria y zona de captación hídrica (tono amarillo). Además, elementos de topografía tales como curvas de nivel, pendientes e índice topográfico. MED 1:10,000 de alta resolución LiDAR, superficie ASCII con tamaño de pixel 5 m obtenido de INEGI edición 2012. Elaboración propia.	64
Figura 21. Modelo tridimensional para la visualización de los elementos topográficos e hidrológicos que influyen en el sitio de estudio elaborado con un modelo de elevación digital de alta resolución LiDAR, superficie ASCII, con resolución de 5m a escala 1:10,000 disponible de INEGI edición 2012. Elaboración propia.	65
Figura 22. Especies de fauna observada en el sitio de estudio. Fotografías de rana toro y azulilla de estanque obtenidas de naturalista en http://www.naturalista.mx . Fotografía de araña saltarina y culebra acuática tomada por Judith Pampa. Fotografía de lagartija de cerco occidental tomada de (File: Western Fence Lizard Courting.jpg., 2020). Fotografías propias de rayadora flameada y rana arbórea de Baja California.	69
Figura 23. Organización de la información de cada especie encontrada y recomendada para el sitio de estudio.	70
Figura 24. Ejemplo del contenido del catálogo de vegetación.	71
Figura 25. Catálogo de estructuras. Fotografías propias.	72
Figura 26. Mobiliario del restaurante anexo al sitio para el humedal artificial.	72
Figura 27. Mobiliarios de la vinícola Clòs de Tres Cantos, ensamble de piezas de materiales de re-uso, rústicos y modernistas para obtener una decoración campirana moderna. Fotografías propias.	73
Figura 28. Catálogo de pavimentos. Fotografías propias.	73
Figura 29. Delimitación de la zona de captación hídrica con mayor aportación de agua de lluvia por escurrimientos en pendientes e infiltración al subsuelo. Fotografía propia.	82
Figura 30. Elementos que deben relacionarse de manera armoniosa en el diseño del humedal.	89
Figura 31. Zonificación general del sitio y ubicación de elementos de paisaje importantes en la adaptación del humedal artificial. Las áreas de interés se clasifican de la siguiente manera: anaranjado (restaurante), amarillo (sitio para el humedal artificial), azul (noria),	

verde (pendiente erosionada), morado (viñedo). Elaboración propia utilizando imágenes landsat de Google Earth.	91
Figura 32. Vista de sección transversal propuesta de humedal subsuperficial de flujo vertical y lineamientos para las diferentes capas sedimentarias según Price & Probert, (1997).	92
Figura 33. Modelos tridimensionales de la primera propuesta de diseño de humedal subsuperficial híbrido, cerrado (sin acceso) al público en general, elaborados por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base en boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.	94
Figura 34. Esquema de humedal subsuperficial donde se muestra la sección de desagüe para la propuesta 1 y 2. Tomado de depuranatura.blogspot.mx	95
Figura 35. Modelo tridimensional de la segunda propuesta de diseño de humedal subsuperficial vertical con acceso al público en general elaborado por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base en boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.	96
Figura 36. Ejemplos sugeridos de muros para la construcción de la propuesta 3.....	98
Figura 37. Modelos tridimensionales de la tercera propuesta de diseño, humedal subsuperficial vertical con columna de agua elaborado por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base a boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.	99

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Concepto de diseño monasterial del arquitecto Alejandro D' Acosta usando materiales reciclados y de reúso para enfatizar la filosofía de trabajo de los propietarios. Fotografía propia.....	58
Fotografía 2. Sitio designado para el humedal artificial. Fotografía propia tomada al inicio de la temporada de lluvias (2019). Esta excavación corrientemente funge como una charca vernal.....	61
Fotografía 3. Perforación de tipo noria de aproximadamente 5 m de altura ubicada dentro de la depresión de terreno anexo al sitio designado para el humedal artificial. Esta estructura es fácil de discernir incluso en imágenes de satélite. Fotografía tomada en temporada de verano, por lo tanto, la depresión se encuentra totalmente seca. Fotografía propia.	62
Fotografía 4. Segunda perforación (noria) de aproximadamente 2 m de altura encontrada oculta por vegetación en proximidad de la primera perforación de mayor altura. Fotografía propia tomada en verano 2019.	62
Fotografía 5. Noria durante la temporada de lluvia (6/4/2019). Fotografía propia.....	62
Fotografía 6. tomada al comienzo de la temporada de lluvias del año 2019, denotando la zona con mayor infiltración por tipo de suelo en mayor proximidad al pozo. Fotografía propia.	76
Fotografía 7. Sitio para el humedal dos semanas después del haber finalizado la temporada de lluvias del 2019. Fotografía propia.	76
Fotografía 8. Visión y Misión de la vitivinícola Clòs de Tres Cantos. Fotografía propia.	88
Fotografía 9. Logo de la vitivinícola Clòs de Tres Cantos.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de Humedales (Rangel, 2014).....	21
Tabla 2. Casos del uso de humedales artificiales en México para el tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 3. Cuantificación de los cuerpos de agua de la región vitivinícola del Valle de Guadalupe con base a fotointerpretación de imágenes de satélite del 2015. No se encontraron humedales naturales en la imagen analizada.	56
Tabla 4. Tabla comparativa entre los humedales horizontales y verticales de flujo superficial (HSH y HSV, respectivamente) y de flujo subsuperficial horizontal y vertical (HHSS y HVSS, respectivamente). Los atributos en cumplimiento con la lista de necesidades de los propietarios son marcados con (*).	67
Tabla 5. Resultados de la medición de campo y por fotointerpretación usando herramientas de Google Earth Pro.....	74
Tabla 6. Resultados de la medición de altura de los cuerpos de agua usando instrumentos de campo y por fotointerpretación en Google Earth.....	74
Tabla 7. Cálculo del volumen de la excavación destinada para el humedal artificial.....	75
Tabla 8. Cálculo del volumen de la noria usando herramientas de Google Earth Pro para determinar las dimensiones del fondo de la noria y GPS para las dimensiones de la orilla.	75
Tabla 9. Precipitación pluvial en el período 2007 - 2012 y promedio anual, para la estación meteorológica Olivares Mexicanos, ubicada en el Valle de Guadalupe del estado de Baja California, México, con localización geográfica; Latitud 32.049 N; Longitud 116.67 O; obtenidos de datos climáticos diarios de SMN disponibles en CLICOM-CICESE. Datos posteriores al 2012 no son disponibles.	77
Tabla 10. Porcentaje de suelo y vegetación.	78
Tabla 11 Precipitación media mensual, para la estación metereológica Olivares Mexicanos, ubicada en el Valle de Guadalupe, Baja California México; Latitud: 32.0491666667N y Longitud: 116.677777778 W y un período de observación de 6 años (2007-2012) en la temporada de lluvias invernales.....	79

Tabla 12. Área de captación de agua de lluvia usando el promedio anual de precipitación acumulada en 6 años equivalente a 251.6 mm para el valle de Guadalupe donde cada mm de precipitación te da 1 l de agua en 1 m ² (Anaya Garduño, 2011).....	80
Tabla 13. Cuantificación de áreas de captación generadas en IDRISI Selva utilizando las herramientas LECOS disponibles en QGIS y el promedio anual de precipitación de la tabla 10 con relación a las áreas de cobertura de suelo con mayor capacidad de conducir agua de lluvia en pendientes (Anaya Garduño, 2011).....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14. Estimación de la longitud de la tubería que conectará la noria al humedal, considerando tubería de PVC rígido (tramo de 3 m de longitud) 2” (Anaya Garduño, 2011).	85
Tabla 15. Comparación de costos de materiales necesarios para la ejecución de las propuestas de diseño sin considerar flete, mano de obra, contratistas y maquinaria. En el caso del transporte de tierra preparada, el precio del material y el precio del transporte puede ser negociado. El costo de transporte oscila entre 300 y 500 m.n. o lo considerado como costo de gasolina.	103
Tabla 16. Actividades enfocadas en los tres tipos de vegetación que deben de desempeñarse para la manutención del humedal (Lembi, Aquatic Plant Management, 2003).....	114
Tabla 17. Comparación entre propuestas según el costo de inversión de los materiales básicos de construcción y las principales actividades de manejo del sistema según tablas 13 y 14.	121

RESUMEN

La escasez de agua en zonas áridas y semiáridas, tanto por su naturaleza como por su alto consumo, requiere de instrumentos tecnológicos, políticos y sociales que mejoren el manejo del agua. Los captadores de agua para mitigar la sequía del Valle de Guadalupe son insuficientes, ya que, por su alta tasa de evaporación, no proveen agua de forma continua a lo largo del año ni mejoran su calidad. Esta investigación parte de la premisa que los humedales artificiales son herramientas confiables y costo-eficientes para la conservación y saneamiento del agua. El buen manejo de estos sistemas provee la capacidad de entregar resultados que conlleven al manejo sustentable del agua. Con base en un estudio de caso, se desarrolló una propuesta de manejo dirigido al sector vitivinícola del Valle de Guadalupe con la misión de promover el entendimiento, conservación y manejo sostenible del recurso hídrico mediante la adaptación de humedales artificiales para esta zona semiárida. Este caso de estudio, desarrollado en la vinícola Clòs de Tres Cantos, se ejecutó utilizando metodología abierta, de tipo inductivo y de selección multicriterio con el objetivo de desarrollar lineamientos generales de adecuación del sitio en los rubros de diseño, construcción y manejo integrado de recursos naturales. Como resultado, los propietarios cuentan con una estrategia de abastecimiento de agua limpia para el pozo de la propiedad; ejemplificada en tres propuestas de diseño de humedal artificial. Tales propuestas constan de un sistema subsuperficial de flujo vertical con elementos de desagüe y posible recirculación del agua. Además, se anexa un inventario de cuerpos de agua de la región vitivinícola del Valle de Guadalupe semejantes a humedales artificiales, un catálogo de plantas de la propiedad y recomendaciones de especies apropiadas para el humedal. Los humedales artificiales no son herramientas nuevas. Las diversas aplicaciones de estos sistemas dan la oportunidad de innovar, ya que por mucho tiempo se han usado para depurar agua, generalmente, en zonas donde el recurso hídrico es abundante. Aunque los diseños de estas propuestas se basaron en conceptos tradicionales, se ofrece un diseño único. La originalidad del diseño consta en su adaptación a un socio-ecosistema de zona semiárida donde el cultivo principal es la vid y la actividad principal es el turismo. Se concluye que la adecuación exitosa del humedal artificial y el manejo propuesto es una herramienta confiable que puede ser repetible en las diferentes vinícolas de esta zona y, sin duda, con la incorporación de estos sistemas, ayudará a mitigar el problema de escasez de agua que severamente y seguirá afectado a la región. La implementación exitosa de este sistema fungirá como caso piloto para el desarrollo de una propuesta de negocio ambiental para la promoción de estos sistemas en el Municipio de Ensenada. Además, se recomiendan diversos proyectos a futuro para conservar, fomentar y sensibilizar hacia las buenas prácticas de manejo del agua basadas en humedales artificiales.

PALABRAS CLAVE: humedales artificiales, humedal subsuperficial vertical, manejo alternativo del agua, Valle de Guadalupe, viticultura, manejo sustentable, zonas áridas, desarrollo regional, tratamiento de agua.

ABSTRACT

In arid and semiarid zones, the scarcity of water, either by natural conditions or use, requires technological, political and social instruments to better manage this resource. To mitigate draught conditions in Guadalupe Valley, rain water reservoirs have been shown to be insufficient. The reason being a high evaporation rate that does not allow a continuous supply of water throughout the year and does nothing to better its quality. This investigation parts from the premise that artificial wetlands are trustworthy and cost-efficient tools for the treatment and conservation of water. Good management of these systems result in the capacity to achieve long term sustainability in water management. Targeting the viticulture sector of Guadalupe Valley and based in a study case, a management proposal was developed. Its mission is to promote awareness in the understanding, conservation and sustainable management practices of the water resource by developing artificial wetlands adapted to this semiarid zone. This case study was developed for the winery Clòs de Tres Cantos. It was executed using multi-criteria selection and open inductive methodology with the objective of developing general guidelines in design and construction for an integral management approach of its natural resources. As a result, the owners will have a strategy, illustrated in three design proposals of an artificial wetland, that will supply clean water to its property well. These design proposals are based using a vertical sub-superficial flow model with drainage elements and possible water recirculation. In addition, a water body inventory that resemble artificial wetlands for the viticulture sector of Guadalupe Valley was annexed and vegetation catalogue of the property with recommended wetland species. For water treatment purposes, artificial wetlands are not new tools, especially in places where the superficial water resource is abundant. But, the diverse applications that these systems provide give the opportunity to innovate. Even though the designs proposed are based in traditional systems, the end result is unique. The originality of its design comes from the adaptation of a wetland system to a semiarid socio-ecosystem where the primary crop is wine grape and the primary economic activity is tourism. In conclusion, the successful adaptation of an artificial wetland and the proposed management plan give a trustworthy tool that can be implemented in the different properties of this viticulture sector. And by implementing these systems, without doubt, the drought problem that has and will keep ravaging this countryside will be mitigated. The success gained in the implementation of this system will serve as a pilot case for the development of an environmental business proposal for the promotion of this system in the Ensenada municipality. In addition to the design, based on the use of artificial wetlands, diverse projects are recommended to further encourage awareness, conservation and better water management practices.

KEYWORDS: artificial wetlands, vertical sub-superficial flow, alternative water management, Guadalupe Valley, viticulture, sustainable development, sustainable management, arid zones, regional development, water treatment.

1 INTRODUCCIÓN

Los humedales, naturales y artificiales, en las zonas áridas son de suma trascendencia porque sus funciones son importantes para el humano (Mitsch & Gosselink, 2000). Por lo tanto, en lugares donde este recurso es escaso, cualquier terreno que contenga y mantenga este recurso de manera viable para su consumo y uso tiene mayor valor. Los humedales naturales en zonas áridas generalmente están asociados a zonas costeras con enfoques marinos, intermareales o de transición entre la tierra y el mar. Sin embargo, entre el 50 y 75% de los humedales de Baja California se han perdido (Landgrave & Moreno Casasola, 2012). Por esta razón, las investigaciones sobre estos sistemas son escasos; en cambio, en zonas donde el agua es abundante, la información sobre el tema es cuantiosa y diversa (Haberl, 2003; Rai, 2013; Yu, 2018).

Recientemente, en California (E.U.A.) y Baja California (México), se han desarrollado diferentes líneas de investigación sobre charcas vnales. Estas charcas, son cuerpos de agua de diferentes tamaños encontradas en la zona mediterránea de forma temporal. Generalmente se observan en primavera, ya que se forman durante la temporada de lluvias que abarca los meses de invierno a primavera (noviembre a marzo). Como resultado de estas investigaciones, se ha encontrado que son ecosistemas únicos de gran valor que ofrecen hábitat a múltiples especies tanto de plantas como animales (United States Environmental Protection Agency, 2018; United States Fish and Wildlife Service, 1998; Bauder & Mcmillan, 1998). La percepción generalizada de estas charcas en las zonas urbanas es desfavorable, ya que se asocian a infestaciones de mosquitos, agua sucia, malezas, lodo, polvo, alergénicos y enfermedad. Como resultado, se desecan, se rellenan y se construye sobre ellos. Por estas razones, en California y la parte noroeste de Baja California se estima que se han perdido más del 90% de las charcas vnales (Montiel Molina, 2013). Actualmente en Estados Unidos, se consideran ecosistemas en peligro de extinción y se han hecho esfuerzos para conservar los pocos que quedan de forma natural.

Una estrategia adicional dirigida a la protección de humedales existentes es, restaurar los que mantienen ese potencial y construir nuevos sistemas que provean los mismos servicios ambientales, aunque tengan un costo de inversión y mantenimiento. Por medio de la ingeniería ambiental se han desarrollado diferentes líneas de investigación para la construcción, mantenimiento y desarrollo de humedales artificiales como una herramienta tecnológica viable y costo eficiente para restaurar o recrear los perdidos. Aún, teniendo el avance en esta rama disciplinaria, la restauración o construcción exitosa de humedales artificiales adecuados a las zonas áridas requiere de equipos interdisciplinarios de profesionistas (ingenieros, manejadores

de recursos naturales, biólogos, ecólogos, limnólogos, arquitectos, diseñadores, economistas, sociólogos, administradores, abogados, etc.) trabajando colectivamente. Esto generalmente resulta complicado por las diferencias que hay entre disciplinas para abordar y visualizar problemas. Para salvar una de las complicaciones en los equipos interdisciplinarios es acordar definiciones. Por lo tanto, para contextualizar y visualizar la complejidad de la construcción de humedales artificiales son necesarias ciertas definiciones, las cuales se proporcionan a continuación.

1.1 DEFINICIÓN DE HUMEDAL NATURAL

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) define a los humedales naturales según la convención Ramsar de 1971 como: “Ecosistemas estratégicos y de gran importancia para la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano, los humedales en general son sitios donde se desarrollan comunidades vegetales de cuantioso valor ecológico y económico. En sus límites crece vegetación de manglar, popal-tular o de galería, y de esos suelos donde predomina el agua surge su riqueza biológica, sean áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas o zonas lacustres” (SEMARNAT, 2017).

Otra definición de humedal ampliamente usada y en la cual se basará este caso de estudio, establece que, los humedales son terrenos de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos donde la zona impermeable se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o cubierta por agua poco profunda (Cowardin, Carter, Golet, & LaRoe, 1979). Para considerarse un humedal tiene que cumplir con al menos uno de los siguientes tres atributos:

- El terreno está cubierto primordialmente de plantas acuáticas adaptadas para vivir en ambientes inundables, al menos periódicamente y son de dos tipos: obligadas o facultativas. Las obligadas muestran adaptaciones anatómicas para vivir en el agua todo su ciclo de vida y necesitan estar total o parcialmente sumergidas, o flotar en la columna de agua para poder sobrevivir (por ejemplo, *Typha spp.* “tules”, *Nymphaea spp.* “lirio acuático”, *Lemna spp.* “lenteja de agua” y algas). Las facultativas son aquellas que pueden vivir tanto en ambientes acuáticos como en terrestres y pueden, o no, mostrar modificaciones anatómicas (tales como, *Equisetum sp.*, *Sagittaria spp.* “sagitaria”, *Mentha spp.* “mentas”, *Anemopsis californica* “yerba del manso”, *Iris spp.* “iris”, etc.).
- El sustrato está conformado primordialmente por regosoles. Estos suelos se encuentran saturados de agua por un período de tiempo lo suficientemente largo para que, dentro de la temporada de crecimiento de las plantas, haya un momento que toleren condiciones

anaeróbicas (sin oxígeno). Además, tienen un porcentaje alto en arcillas y materia orgánica.

- El sustrato está saturado de agua y cubierto por una columna de agua menor a los seis metros, al menos en algún momento de la época de crecimiento anual de las plantas.

1.1.1 Clasificación de los Humedales Naturales

La Convención Ramsar es un tratado intergubernamental, en el cual participa México, busca la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. Este tratado clasifica a los humedales como: Humedales Continentales (agua dulce), Marinos o Costeros (agua salada) y Artificiales (construidos). Además, estos tres tipos de humedales se subdividen en cinco sistemas principales: marinos, estuarios, palustres, lacustres y ribereños (Figura 1).

Para definir estos sistemas se debe diferenciar entre vegetación decidua o caducifolia. Por vegetación decidua se entiende de aquellas plantas que no pierden su follaje cuando mueren. Es decir, se mantiene de pie cerca dentro o fuera del agua (por ejemplo, “tules”, especies leñosas como árboles y arbustos). La vegetación caducifolia se refiere a aquellas plantas que pierden todo su follaje cuando muere (tales como, “lirios acuáticos”, plantas sumergidas y “sagitarias”).

Estos cinco sistemas de humedales se definen por sus diferencias según (Cowardin, Carter, Golet, & LaRoe, 1979), ya que todos tienen en común una zona de humedal, un hábitat de agua profunda y el tipo de vegetación, en su mayoría deciduo. Los ambientes de agua profunda son aquellos donde el agua superficial es generalmente permanente, su columna de agua es profunda y es el medio dominante donde viven los organismos (Figura 1). Para este estudio, los sistemas palustres son de gran interés, ya que, no incluyen un hábitat de agua profundo y pueden ser humedales poblados con vegetación emergente y/o de matorral como las charcas vernaes mencionadas anteriormente.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con el apoyo de otras instituciones, elaboró el Inventario Nacional de Humedales (INH) con el objetivo de recolectar la información cartográfica, ambiental y estadística de los ecosistemas. Este inventario menciona que México cuenta con 6,331 humedales naturales, por lo que, ocupa el segundo lugar a nivel mundial. De estos, 142 humedales están considerados dentro de la Convención Ramsar, adherida a México en 1986 y 464 de estos humedales son binacionales, donde 430 se encuentran en la frontera norte y 34 en la frontera sur. Uno de los humedales más importantes del país es un humedal de zona árida, en el valle de Cuatrocénegas, en el desierto de Coahuila, con una extensión de 84 hectáreas y declarado Área Natural Protegida el 7 de noviembre del 1994 (CONAGUA, 2017).

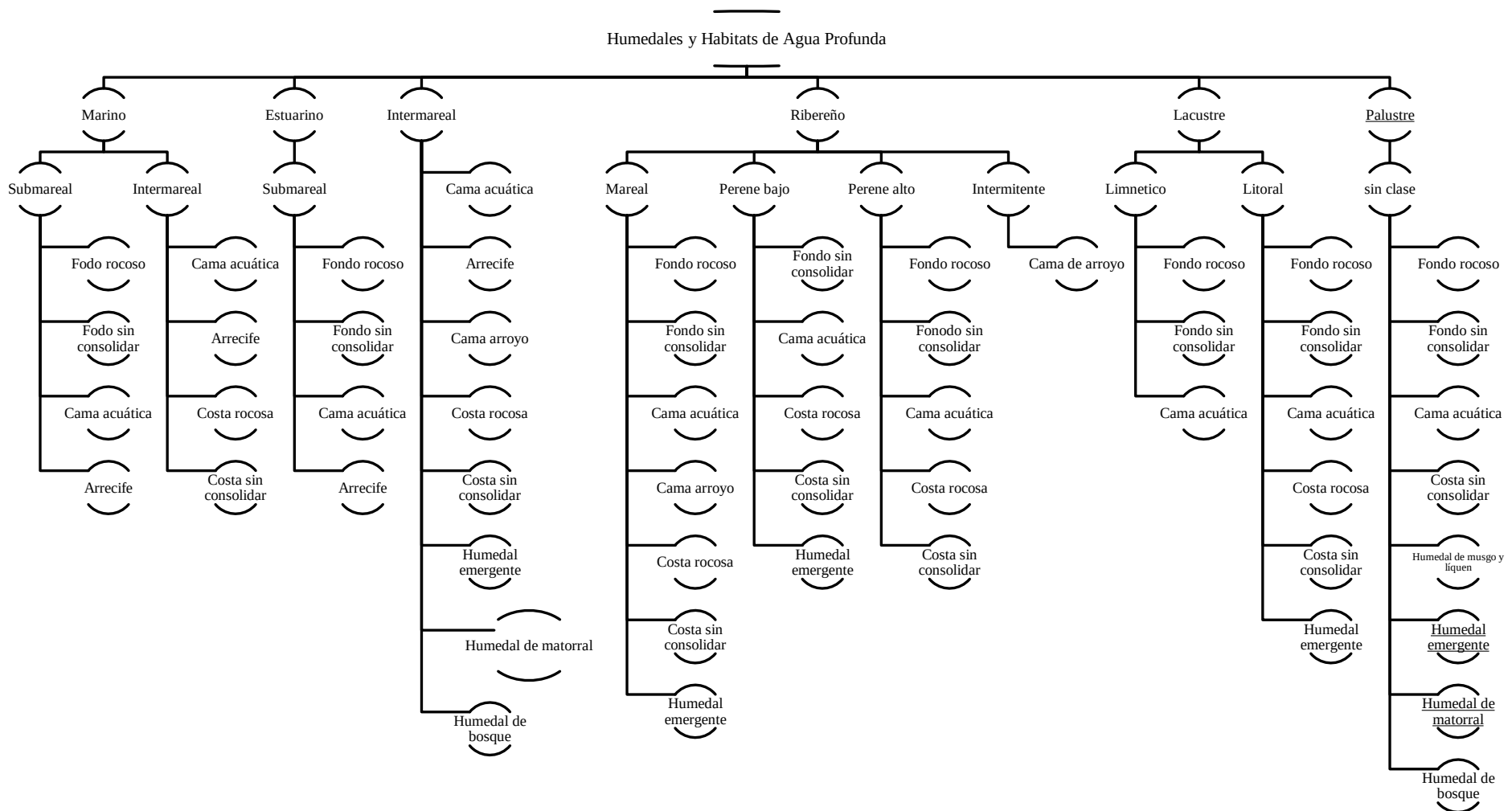


Figura 1. Clasificación jerárquica de humedales y hábitat de agua profunda mostrando sistemas en la primera jerarquización, subsistemas en la segunda y clases en la tercera (Cowardin, Carter, Golet, & LaRoe, 1979). El sistema palustre, no incluye un hábitat de agua profunda, por lo que se le denomina sin clase y tipo de humedal en la que se enfoca este estudio.

1.1.2 Valor de los Humedales Naturales

En el 2012, se cuantificó la pérdida de humedales en México utilizando métodos cartográficos y modelos de elevación digital; en esas fechas, se habían perdido la mitad de los humedales mexicanos. Los estados más afectados son Chihuahua, Coahuila y Nuevo León en el interior de la república y Baja California, Sonora y Tabasco en la costa (Landgrave & Moreno Casasola, 2012).

El tema es tan impresionante y popular que, en la revista electrónica Forbes México, la maestra Viviana Macías de la Universidad Iberoamericana explica que, en los últimos 40 años, México ha perdido alrededor de 7 millones de hectáreas de humedales naturales por causa de especies invasoras, extensión de las tierras agrícolas, desarrollo urbano, portuario y turístico y mala planeación ambiental. Por esta razón se ha hecho un esfuerzo a nivel gubernamental para la protección de estos espacios ya que son de gran valor por la cantidad de servicios ambientales que proveen. Pero, ¿cómo se valora un humedal?

El valor de los humedales se determina por la funcionalidad de los procesos ecológicos, la percepción social, el lugar en donde se encuentra, la presión que se ejerce sobre el sitio por la población y la extensión del recurso (Mitsch & Gosselink, 2000). Por lo tanto, el valor del humedal se cuantifica con respecto a los servicios ecosistémicos y/o ambientales que proporcionan a sus usuarios, en general a la sociedad. Los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios que aporta el ecosistema e impactan o tienen un valor de uso directo para la sociedad como la mejora de la salud, el bienestar económico y la calidad de vida (Cristeche & Penna, 2008).

La valoración económica de los sistemas ambientales se puede definir como una asignación tentativa de un valor cuantitativo y monetario a los bienes y servicios suministrados por los recursos del sistema natural, ya sea que se cuente o no con precios de mercado. Para el caso de humedales, no todos los servicios tienen un precio de mercado asociado, por lo tanto, el valor se establece según la voluntad de pagar por el bien o servicio (gastos de construcción, establecimiento y mantenimiento), ya sea que en la práctica se haga o no un pago (Lambert, 2003).

En la Tabla 1, se muestran tres características relacionadas con los humedales naturales: 1) biodiversidad, compuesta de flora y fauna; 2) los servicios ecosistémicos que ofrecen a la población y 3) los usos y actividades asociados a los humedales naturales, según la Política Nacional de Humedales de México.

Tabla 1. Caracterización de Humedales (Rangel, 2014).

BIODIVERSIDAD		SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	USOS Y ACTIVIDADES PRODUCTIVAS ASOCIADAS A LOS HUMEDALES NATURALES Y ARTIFICIALES
Vegetación	Fauna		
<i>V. Acuática:</i> • Hidrófitas emergentes • Hidrófitas sumergidas • Hidrófitas flotantes • Marisma • Pastos marinos • Manglar • V. Riparia • Selva baja inundable • Palmar inundable • Sabana <i>V. Dunas Costeras</i>	• Invertebrados • Arrecifes • Peces • Anfibios • Reptiles • Aves acuáticas migratorias	Servicios Ecosistémicos de Provisión: • Productos de uso medicinal, gastronómico y ornato • Materias primas bióticas • Hábitat de especies de valor eco-turístico Servicios Ecosistémicos de Regulación • Control de inundaciones • Recarga o reposición de agua subterránea • Depuración de aguas • Control de erosión • Reservorio • Mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático Servicios Ecosistémicos de Soporte: • Soporte de los procesos bioquímicos del agua y suelo. • Soporte del ciclo de agua y suelo Servicios Ecosistémicos Culturales • Educación • Intercambio de saberes • Relaciones sociales • Arraigo • Patrimonio cultural • Valores estéticos y de inspiración artística • Eventos	<i>Uso del agua:</i> • Agrícola • Abastecimiento público • Industria autoabastecida • Generación de electricidad • Consumo <i>Uso de los recursos:</i> • Pesca • Pesca deportiva • Acuicultura • Aprovechamiento forestal • Sal • Actividades cinérgicas • Turismo • Transporte <i>Usos Tradicionales:</i> • Culturales y espirituales • Medicinales de plantas y animales • Pesca artesanal • Agricultura • Aprovechamiento de recursos naturales

Como lo establecen la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Macías, 2014; Rangel, 2014; CONABIO, 2019) los servicios ecosistémicos que más se destacan en los humedales son:

- La estabilización del suministro de agua
- La recarga de acuíferos.
- La depuración de aguas contaminadas.

- Control de erosión.
- La retención de sedimentos y nutrientes.
- La regulación de gases atmosféricos y el clima.
- Son reservorios de biodiversidad y espacios de valor cultural, económico y recreativo.

Además, los humedales también son consideradas áreas verdes; lugares de gran importancia en zonas áridas. No solo porque dan un aspecto estético enverdeciendo las zonas urbanas y rurales, sino porque también ofrecen la oportunidad de modificar la percepción local y del visitante sobre el ambiente natural (Leyva & Espejel, 2014). En conclusión, se infiere que los diversos beneficios tanto sociales como ambientales que se obtienen de los humedales naturales son de gran importancia y en dichos valores se basan los esfuerzos de conservación, restauración, construcción y promoción de su uso sostenible.

1.2 DEFINICIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL

Los humedales artificiales son cuerpos de agua contruidos para imitar los humedales que naturalmente ocurren en el medio ambiente con el fin de mejorar la calidad del agua (Wu, et al., 2015). Al ser imitaciones de humedales naturales y dependiendo de la función que desempeñan, se obtienen los beneficios esperados de uno natural, con la diferencia de que en un humedal artificial se obtienen los servicios deseados y no solo los que ofrece naturalmente.

Para diferenciar el tipo de servicios que presenta, se hablará de servicios ambientales para sistemas artificiales y servicios ecosistémicos para los humedales naturales. Esto es importante porque cuando las valoraciones son monetarias es necesario restar los gastos de inversión para su construcción y los de mantenimiento (Espejel, Díaz de León, Moreno Casasola, Vázquez González, & Hernández, 2016)

La construcción de los humedales artificiales se basa en sistemas palustres, ya que no cuentan con un hábitat de agua profunda. Por ende, son sistemas que aportan poco recurso de biodiversidad pesquera y su función además de ecológico es primordialmente social. La sustentabilidad y resiliencia de los humedales naturales es altamente dependiente de los estresores ambientales y no requieren del humano para ser sistemas sustentables. En cambio, la resiliencia del humedal artificial se obtiene de la manipulación humana tanto para compensar los estresores ambientales como los estresores impuestos por las actividades antropogénicas asociadas al sistema. Por lo tanto, lograr un balance entre los tres ejes del desarrollo sustentable (ecológico, económico y social) a largo plazo es muy complejo (Díaz Coutiño, 2015; Wu, et al., 2015).

1.2.1 Antecedentes y Aplicabilidad de los Humedales Artificiales

A finales de la década de los años sesenta, los humedales artificiales ya eran considerados una tecnología “Verde” costo-eficiente para tratar agua residual (Brix, 1999; Gopal, 1999; Haberl, 1999), a partir de este hecho, han sido utilizados de manera global para el tratamiento de aguas residuales municipales y domésticas. Para finales de la década de los años setenta, en Europa, ya se habían construido alrededor de 50,000 humedales artificiales para el tratamiento de agua residual y alrededor de 10,000 en Estados Unidos. Para el año 2014, los humedales artificiales ya eran ampliamente usados para el tratamiento de agua de diferente índole; tales como: minera, agrícola, doméstica, aguas negras, grises y blancas, metales pesados, ríos contaminados, efluentes de depósito sanitario y aguas pluviales (Wu, et al., 2015). Sin embargo, a pesar de los beneficios costo-eficientes que ofrecen los humedales artificiales, es complejo lograr resultados a largo plazo manteniendo una operación sostenible. Por esta razón se recomienda considerar los siguientes criterios (Figura 2) para obtener los lineamientos generales de diseño y construcción con base en su función, el medio ambiente del sitio y los servicios ambientales que se desea que provean (Wu, et al., 2015).

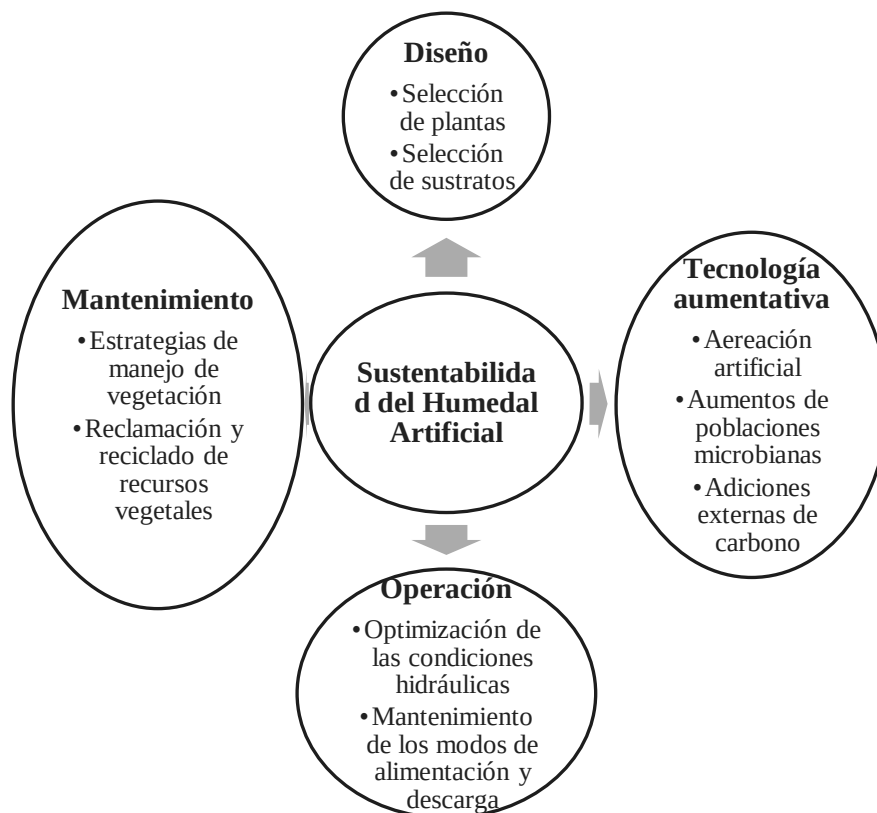


Figura 2. Resumen de criterios a considerar en el diseño y establecimiento de un humedal artificial (Wu, et al., 2015).

Los criterios de la Figura 2, son resultado de investigaciones recientes como las que se han mencionado en el siguiente apartado y que se han desarrollado para solventar problemas de abastecimiento de agua limpia a nivel mundial. En México, se encuentra el uso de estos sistemas enfocados para la depuración de aguas, en especial en regiones sobrepobladas y con problemas de contaminación de las aguas superficiales.

1.2.2 Uso de Humedales Artificiales en México

Según la página web “Humedales Artificiales” creada por la Facultad de Estudios Zaragoza, (UNAM, 2011), se describen varios casos de humedales artificiales con resultados positivos que se han construido en México (Tabla 2). La mayoría de estos casos son pequeñas construcciones de índole piloto o demostrativo. Los proyectos se han realizado en el transcurso de los últimos veinte años con el propósito de mejorar la calidad de agua por medio del tratamiento de aguas residuales. Los proyectos identificados en esta tabla desarrollados en Baja California presentaron resultados positivos en el diseño, construcción y funcionamiento para el tratamiento de agua residual en zonas áridas, pero se desconoce al igual que todos los demás proyectos en el país, si se les dio seguimiento, si se mantienen vigentes y si siguen dando los mismos resultados.

En las zonas agrícolas de las regiones áridas y semiáridas del país, tanto los humedales naturales como los artificiales, cobran importancia como reservorios de agua para sobrellevar las sequías mediante la recolección y almacenamiento eficiente de agua de lluvia. Para esta investigación se eligió el Valle de Guadalupe, por ser una zona vitivinícola embebida en una región semiárida del noroeste de México que ha tenido recientemente un crecimiento exponencial, sufre largos períodos de sequía y se han implementado captadores de agua de lluvia de diferentes diseños. Estos diseños, aparentemente han resultado insuficientes y se prosigue en la búsqueda de proyectos más eficiente. Además, se tomó como caso de estudio, identificar los cuerpos de agua dulce que presentan similitud a sistemas palustre, charcas vernaes y humedales artificiales en la zona y proponer un esquema de humedal artificial pertinente a las características ambientales de la región.

Tabla 2. Casos del uso de humedales artificiales en México para el tratamiento de aguas residuales.

Ubicación	Tipo de Humedal y escala de construcción	Constructor	Propósito o Función
Valle de Bravo, Edo. México	Subsuperficial demostrativo	Empresa española ECODENA.	Depuración de aguas residuales domésticas como una solución sostenible y ecológica.
Emiliano Zapata, Veracruz	Subsuperficial demostrativo	Instituto de Ecología, A. C. en colaboración con la Comisión Nacional del Agua (CNA) a través del Consejo de Cuenca de Tuxpan-Jamapa y la Junta de Administración, Mantenimiento y Operación de Agua Potable, A. C. (JAMOAP).	Humedal utilizando plantas ornamentales como una opción viable y barata para la generación de ingreso para la comunidad Pinoltepec.
Coyoacán, México	Piloto, construido en 1998	Parque Nacional Viveros bajo la dirección de SEMARNAT.	No especifica
Escalerillas, San Luis Potosí	Subsuperficial Funcionamiento formal, construido en 2011	Ayuntamiento de San Luis Potosí.	Tratamiento de aguas residuales domésticas, evitar un problema de salud pública y mejorar el ambiente
Jantetelco, Morelos	En construcción desde 2005	Gobierno del Estado de Morelos.	Tratamiento de aguas residuales domésticas
Jonacatepec, Morelos	Propuesta de humedales	Gobierno del Estado de Morelos.	Tratamiento de aguas residuales domésticas
Cuautla, Morelos	Humedal de flujo intermitente establecido en 1942	Gobierno del Estado de Morelos.	Tratamiento de aguas para la remoción de contaminantes
Cuautla, Morelos	Humedal Subsuperficial prototipo	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).	Remoción de grasa y aceite
Oaxaca, Oaxaca	Sistema de tratamiento de agua piloto incluyente de reactor anaerobio de flujo ascendente, una laguna facultativa, dos humedales de flujo superficial, un filtro de discos, almacenamiento y terreno de irrigación.	Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca (UABJO) diseñado por Humboldt State University (HSU) Arcata, CA.	Tratamiento de aguas residuales domésticas para riego
Jiutepec, Morelos	Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial.	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).	Impacto de la tubería de aireación en la remoción de coliformes fecales
San Nicolás Tlaminca, Edo. De México	Sistema de humedales artificiales subsuperficiales en pileta de concreto seriadas por escalonamiento construido en el 2011	Ayuntamiento Municipal de Texcoco.	Tratamiento de aguas residuales para la comunidad de Texcoco
Mexicali, Baja California	Humedal artificial horizontal a escala piloto	UABC, (Ojeda, 2017).	Tratamiento de aguas grises
Valle de las Palmas, Baja California	Humedal artificial de flujo subsuperficial híbrido	UABC, (Payán, 2014).	Tratamiento de aguas residuales.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es un país con catorce estados productores de uva destinada a cinco vocaciones: uva de mesa, pasa, jugo, brandy y vino de mesa. Los principales productores de uva destinada para la industria del vino, jugos y brandy son: Baja California, Zacatecas, Sonora, Aguascalientes, Coahuila y Querétaro. Los valles vitivinícolas de Baja California se encuentran en los municipios de Ensenada, Tijuana y Tecate. En esta entidad, la superficie cultivada es de 3, 735.38 hectáreas y en ellas se concentra alrededor del 90% del vino mexicano. En el municipio de Ensenada, la vid se cultiva en los Valles de Guadalupe, San Vicente, Ojos Negros y Santo Tomás y el 90% de la producción se destina a la elaboración del vino (González, 2015).

Baja California se caracteriza por tener un clima semidesértico con poca disponibilidad de agua superficial. Por tanto, se abastece principalmente de agua subterránea (Campos, 2008; Daesslé, et al., 2006; Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006) . Sin embargo, en las últimas décadas, se ha transformado su actividad natural agrícola-rural a una turística para impulsar y diversificar el potencial socioeconómico de la región a través de la comercialización y producción del vino mexicano tanto a nivel nacional como internacional (Reyes Orta, Olague, & Verján, 1992).

El Valle de Guadalupe se considera la región de mayor importancia enológica, porque es en este lugar donde se dio el boom del vino que culminó en el establecimiento de la industria a nivel internacional. Ahora en día, el Valle de Guadalupe sostiene alrededor de 100 vinícolas, todas completamente dependientes del agua subterránea extraída de su acuífero (Consejo Mexicano Vitivinícola, 2020). Este aunado a otros factores antropogénicos, como la sobreexplotación de recursos naturales, el crecimiento de la población, y el deterioro de bienes y servicios ambientales, amenazan la sostenibilidad de los ecosistemas y provoca incertidumbre en los patrones de consumo de un recurso naturalmente escaso (Vázquez León, 2015).

¿Cuánta agua se ocupa para elaborar vino? La mayor cantidad de agua se utiliza en irrigación para el cultivo de la vid. En el proceso enológico, el uso del agua se concentra en la limpieza de la vinícola y el equipo enológico, ya que, generalmente no se añade agua al mosto, aunque hay excepciones. Para medir cuánta agua se ocupa en la producción de vino se utilizan tanto los datos de extracción provistos por la Comisión Nacional del Agua y la huella hídrica.

La huella hídrica es un indicador multidimensional de la apropiación humana del agua dulce. Su estudio permite visualizar el uso directo e indirecto del agua tanto de consumidores como productores. Este volumen de agua se expresa según el origen del agua: agua de lluvia (h. h. verde), agua superficial y subterránea (h. h. azul), y agua contaminada (h. h. gris) (Hoekstra,

Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). A nivel global, la industria del vino deja una huella hídrica de 109 L (69.9% h. h. verde, 15.9% h. h. azul, 14.3% h. h. gris) por una copa de vino (0.125 L), lo que se maneja como servicio de degustación (Lamastra, Suciú, Novelli, & Trevisan, 2014). A nivel nacional se producen 2.5 millones de cajas anuales, cada una con 12 botellas de 750 mL (Consejo Mexicano Vitivinícola, 2020). Utilizando estos datos se estima que, en Baja California se utilizan 19.62 hm³ anuales de agua dulce para la producción de vino, donde el 90% de esta producción se realiza en el municipio de Ensenada. Si el 70% de la producción de vino del Municipio de Ensenada se concentra en el Valle de Guadalupe, como mencionó Fernando Pérez presidente de la asociación civil de ProVino en el sitio web am Noticias (2018), se estima que se utilizan 13.734 hm³/año de agua para la producción de vino.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017) reportó para el Valle de Guadalupe una extracción de agua por bombeo de pozos concesionados de 21.7 hm³/año, de los cuales, 13.1 hm³/año (60.4%) son utilizados en la agricultura, donde el cultivo principal es la vid para vino, 7.5 hm³/año (34.6%) son para uso público-urbano y 1.1 hm³/año (5%) para otros usos. En total se reportaron 37.1151 hm³/año con un déficit de 18.415 hm³/año. Al comparar la huella hídrica global (13.734 hm³/año) y la cantidad de extracción reportadas por CONAGUA para la producción de vid, (13.1 hm³/año) encontramos que la huella hídrica del Valle de Guadalupe es de aproximadamente 104 L de agua dulce por copa vino (0.125 L).

Por el déficit de agua y la infiltración de sales en los pozos, los productores de vino han tenido que recurrir a las producciones de vid de otros valles vecinos como San Vicente, Santo Tomás y Ojos Negros para abastecerse de la uva necesaria para cumplir con las demandas de producto embotellado. El crecimiento de la actividad turística, para promover la venta y consumo del vino ha generado presión sobre los recursos naturales y demandado el diseño y ejecución de estrategias que permitan su desarrollo controlado para enfrentar los retos importantes como la escasez de agua y la fragmentación del paisaje derivado del incremento de la presión por el desarrollo inmobiliario (Reyes Orta, Olague, & Verján, 1992).

Las principales consecuencias que se han observado a nivel socioeconómico por la escasez de agua son la reducción de la producción agrícola, que provoca un encarecimiento de los productos, cambio de uso de suelo, desempleo, migración, confrontación entre localidades por el control del recurso y violencia (Vázquez León, 2015). En el punto de vista ecológico la escasez no es solo una afectación local sino también es el resultado directo del calentamiento global. Por ende, se ha observado retraso en los tiempos de maduración y cosecha de uva y declives en las poblaciones de biota, en especial las especies endémicas por el cambio brusco del hábitat, disponibilidad de agua y alimento (Malcom, Liu, Neilson, Hansen, & Hannah,

2006). Por ser un problema de ocurrencia global, diferentes sectores vitivinícolas a nivel mundial han estado experimentando las consecuencias de sequías prolongadas y escasez en la disponibilidad del recurso hídrico. Incluso en lugares en donde el agua es abundante se han estado implementando estrategias de manejo ya que la abundancia del recurso ya no es permanente, sino temporal (Costa, et al., 2016).

En Europa, se han implementado diversas estrategias de manejo para combatir la escasez hídrica en el viñedo a consecuencia del calentamiento global. Estas son:

- Estudios de la viña bajo estrés hídrico por exposición a altas temperaturas ambientales y riego reducido por medio de la implementación de tecnología para el monitoreo y la generación de datos (Lamastra, Balderacchi, Di Guardo, Monchiero, & Trevisan, 2016)
- Estudios de la viña por percepción remota y viticultura de precisión (Pérez Quezada, 2006).
- Modificación de los sistemas de riego y la implementación de agricultura de conservación (Costa, et al., 2016).

Para que estas estrategias den resultados positivos, deben ser implementadas no solo en la vitivinícola sino también de forma colectiva en la región vitivinícola. Esto ocuparía un plan de manejo para cada productor y otro plan de manejo para cada localidad. Además, se ocuparía trabajo extensivo de política pública para poder tratar, analizar y estudiar los datos generados que deberán ser traducidos para la toma de decisiones de dicha región. Esta situación idónea que se comienza a adaptar en Europa, Argentina, Australia y Chile todavía está lejos de lograrse en México, ya que se necesita una inversión financiera grande, compromiso, cooperación y perseverancia.

Consecuentemente, se han desarrollado otras prácticas para la agricultura que promueven el uso sustentable de los recursos naturales y que además pueden usarse en conjunto con diferentes estrategias para lograr beneficios a largo plazo que conllevan a la sostenibilidad. Estas prácticas son llamadas prácticas de agricultura de conservación y proporcionan los siguientes beneficios descritos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019):

- Mantiene la salud del suelo
- Disminuye la erosión manteniendo la cobertura del suelo, minimizando disturbios y rotación de cultivos. La rotación de cultivos no aplica para la vid, pero si para el mantenimiento de las calles del viñedo.
- Se ha observado incrementos en la producción comparado con sistemas convencionales.

- Se han observado incremento de ingresos de los agricultores ya que ahorran en fertilizantes, incrementos en resiliencia a pestes y enfermedades y disminución de escurrimientos agrícolas a cuerpos de agua.

Estos beneficios se logran con la práctica de los siguientes cinco principios básicos de agricultura de conservación (Departamento de Investigación y Capacitación de AgroComunal Venezuela, 2015):

- Labranza cero.
- Mantener el suelo cubierto con plantas fijadoras de nitrógeno.
- Maximizar la producción de la materia orgánica utilizando composta orgánica en vez de fertilización química.
- Mantener la diversidad biológica nativa.
- Alimentar las plantas a través de la incorporación de la cobertura muerta al suelo.

Además, se ha optado por realizar estudios para la selección de nuevos porta-injertos. El porta-injerto, patrón o pie, es la parte sobre la que va injertada la variedad o cultivar. De la unión del injerto con el porta-injerto se obtiene una planta compuesta de dos secciones provenientes de individuos distintos que mantienen su individualidad sin producir intercambio o mezcla de información genética (Bianchi, et al., 2018). Además, esta unión muestra un comportamiento particular como resistencia a filoxera (*Daktulosphaira vitifoliae*), resistencia a la caliza, salinidad, sequía, vigor, resistencia contra nematodos y otras pestes y enfermedades, etc. (Viveros Barber, 2017)). Algunas de estas prácticas se ven reflejadas en los diferentes viñedos de los Valles de Guadalupe (Alcazar, Espejel, Reyes Orta, & Arredondo, 2020), Ojos Negros, Santo Tomás y San Vicente, pero en ninguna se han hecho estrategias de manejo sostenible donde se implementen todas las prácticas necesarias para la conservación del suelo, el agua, el bienestar económico y social.

Se han explorado diferentes alternativas para abastecer la región con agua sin lograr solventar la crisis hídrica de la región. Estas alternativas, según la Cámara Nacional de la Industria (CANACINTRA, 2014) son:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Plantas desalinizadoras.
- Acueducto de aguas blancas.
- Fomento de buenas prácticas en el uso de agua.
- Monitoreo, para la eficiencia y optimización del manejo y uso del agua.

Cabe mencionar, que algunas de estas alternativas son propuestas y no se han implementado. Ensenada es una de las pocas ciudades que trata el 100% de las aguas colectadas del sistema de alcantarillado y abastece los pozos de la región agrícola de Maneadero. Los problemas asociados con esta práctica es la contaminación de pozos y agua subterránea por causa de un tratamiento de agua deficiente (CANACINTRA, 2014). Las plantas desalinizadoras tienen restricciones en la ubicación de los sitios donde pueden implementarlas. Además, en conjunto, se tienen que analizar: la cercanía de los sistemas existentes, los avances tecnológicos, costos, disponibilidad de energía etc. para establecer factibilidad. Por consecuencia, estos proyectos requieren financiamiento considerable y bastante tiempo para ser implementados adecuadamente. En la región, la urgencia del problema se incrementa anualmente tanto, por el mal manejo del recurso, el cambio de uso de suelo como las consecuencias del cambio climático.

Los humedales artificiales, aunque son una tecnología que no se encuentra con frecuencia en el viñedo; ofrecen un gran potencial para la conservación y el abastecimiento de agua limpia a pozos. Se ha demostrado por décadas que son técnicas ecológicas aptas para el abastecimiento de agua limpia en comunidades pequeñas y zonas rurales (Zhang, et al., 2014; Haberl, 1999); aunque la operación sostenible a largo plazo de estos sistemas es difícil porque es muy compleja (Wu, et al., 2015). El manejo apropiado puede ser una valiosa herramienta de conservación por sus propiedades de captura, limpieza y mitigación de contaminantes a aguas subterráneas (Haberl, 1999). Estos contaminantes potenciales pueden introducirse por fertilizantes, pesticidas y metales pesados de agua residual previamente tratada. Además, proveen hábitat para aves y otras especies de fauna silvestre incrementando la riqueza de especies y por ende la biodiversidad. Un humedal artificial rodeada de vegetación riparia, de galería o popal-tular, disminuye de manera significativa la introducción acelerada de contaminantes a un cuerpo de agua dulce. También, previene la erosión y los escurrimientos agrícolas, especialmente en cultivos establecidos en laderas y pendientes como es frecuente en el Valle de Guadalupe.

Estos sistemas en conjunto con las buenas prácticas de agricultura de conservación y manejo de suelos y agua, son la pauta para un manejo sostenible del viñedo. Pero, los problemas a enfrentar no son triviales. Primeramente, el agua necesaria para mantener el humedal es naturalmente escasa y temporal. La extensión de terreno para la ubicación de estos sitios es limitada. No es común la vegetación acuática nativa en una zona árida. Los suelos de esta región no son naturalmente aptos y tendrán que modificarse para mantener un humedal. Además, el sitio deberá aportar un valor estético y atractivo por desarrollarse en un ámbito turístico. Por consecuencia, el problema de investigación de este trabajo desarrolla los lineamientos de diseño, construcción y manejo de un humedal artificial adecuado a una zona semiárida dentro de un

predio vitivinícola. Con los resultados de este estudio, se abre la oportunidad de ofrecer este servicio de manera formal a un sector altamente necesitado de agua. Esto dará pauta a un acercamiento a la sostenibilidad en el Valle de Guadalupe por medio de la aplicación, difusión y divulgación de buenas prácticas que promuevan el manejo responsable del agua (Figura 3).

Un humedal artificial no es la solución absoluta; pero, si se establece y se maneja en conjunto con técnicas de agricultura de conservación, se aminoran las dificultades tales como la desertificación, compactación de suelo, infiltración rápida del agua en el suelo y la recarga mínima del acuífero (Sustainable Agriculture Initiative , 2010). Además, para esta zona, por el tipo de suelo que promueve la filtración de agua al subsuelo y la vegetación adaptada a la escasez de agua, se pueden realizar diversos niveles de depuración de agua residuales tanto urbano como rural. Por lo tanto, los humedales naturales y artificiales en estas zonas tienen el potencial de ser una herramienta de gran valor para la depuración de agua de diferente índole y para el tratamiento de contaminantes específicos (Sorensen, Barzetti, Keipi, & Williams, 1997).



Figura 3. Mapa conceptual del planteamiento del problema, donde el humedal artificial se abrevia como HA; elaboración propia.

El problema de investigación y caso de estudio se desarrolló dentro del Proyecto A-347 y A-447 de Río Arronte, que tiene como objetivo general lograr la adopción y puesta en marcha de un programa de manejo integrado de la cuenca y el acuífero de forma participativa y vincularlo a un Observatorio (portal de Internet) el cual:

- a) Expondrá el monitoreo del acuífero (cantidad y calidad del agua) a largo plazo.
- b) Exhibirá las buenas prácticas, infraestructura y alternativas para el manejo sustentable del agua.
- c) Vinculará representantes legales, usuarios del acuífero (residentes, turistas y migrantes), academia y gobierno con información precisa en un lenguaje comprensible para un público general.

Por lo descrito en este apartado y relacionado a los proyectos donde se incluye esta tesis, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuánta agua se ocupa para elaborar vino?
2. ¿Qué se ha hecho en Europa, el productor más importante de vino a nivel mundial, para mitigar la escasez hídrica en el viñedo?
3. ¿Qué se ha hecho en el municipio de Ensenada para combatir la escasez hídrica?
4. ¿Se podrá ofrecer la tecnología ambiental de humedales artificiales como una herramienta de manejo del agua para el sector vitivinícola del Valle de Guadalupe?

El desarrollo de un humedal artificial adecuado a la zona semiárida de la Cuenca Guadalupe califica como una alternativa de manejo del recurso hídrico y como una buena práctica que, en combinación con otras, acercará hacia la sostenibilidad. Por ende, la propuesta de investigación tiene como misión “Propiciar y promover el entendimiento, conservación, manejo y uso sostenible de humedales artificiales en el Valle de Guadalupe”.

1.3.1 Objetivo General:

Desarrollar los lineamientos de diseño y construcción de un humedal artificial adaptado para la conservación y uso sostenible del agua en el sector vitivinícola del Valle de Guadalupe.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- 1) Inventariar y clasificar los cuerpos de agua dulce en existencia en el Valle de Guadalupe semejantes a humedales.
- 2) Seleccionar y describir el caso de estudio: vinícola Clòs de Tres Cantos.

- 3) Documentar el proceso de diseño para la construcción de un humedal artificial dentro de la propiedad donde se ubica la vinícola Clòs de Tres Cantos.
- 4) Desarrollar una propuesta de manejo del humedal artificial propuesto.

2 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

El proyecto se desarrolló en tres etapas, inicial, implementación y final (Figura 4). En la etapa inicial se obtuvieron datos relevantes a la pregunta de investigación mediante la revisión de literatura técnica y científica, obtención de imágenes de satélite, bases de datos geográficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la recolección de datos de campos que permiten definir el caso de estudio. Este análisis parte del entendimiento de los aspectos generales de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe y las características particulares del caso de estudio.

La etapa de implementación es la integración de los datos recolectados en la etapa inicial para la elaboración de una propuesta de diseño que permita la adecuación del sitio según sus características edafológicas, topográficas, ecológicas, hidrológicas, lista de necesidades del cliente y de los usuarios del sitio.

La etapa final consiste en el desarrollo de un plan de manejo con base en los lineamientos generales de diseño para la construcción del humedal artificial que se obtuvieron en las etapas previas.

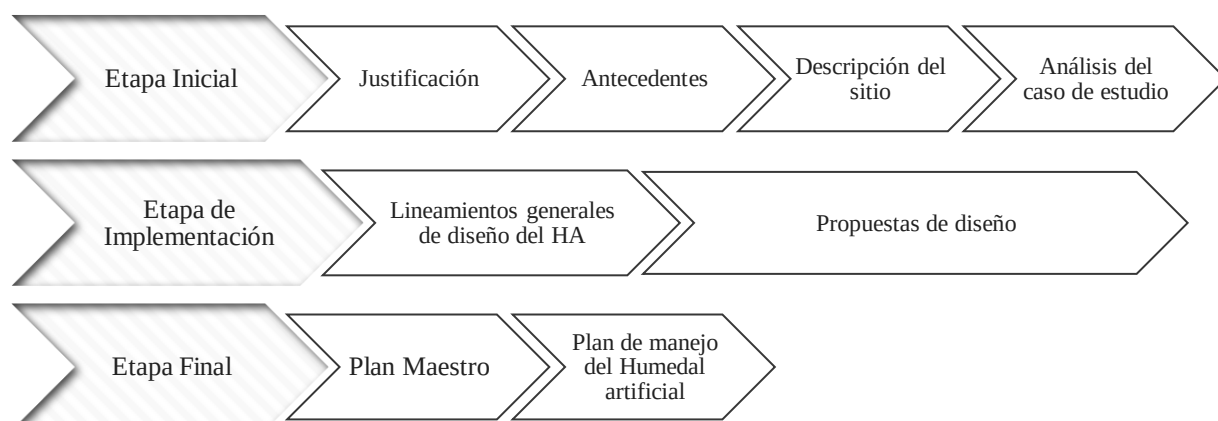


Figura 4. Diagrama del proceso de desarrollo del proyecto por etapas (HA: humedal artificial); elaboración propia.

Cada etapa se desglosa en actividades y metas que generan los resultados necesarios para poder cumplir los objetivos específicos, los que a su vez conllevan al objetivo general (Figura 5). Estas actividades se llevan a cabo aplicando un análisis multicriterio para la toma de decisiones considerando el listado de necesidades de los propietarios del caso de estudio, los usuarios directos y la función y uso que se le dará al espacio.



Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo del proyecto enfocado en la obtención de resultados para cada objetivo específico. Elaboración propia de esquema, dibujos e ilustraciones. Fotografía propia. Imagen de satélite obtenida de la plataforma Global Visualization Viewer.

2.1 DESCRIPCION ESPACIAL DEL VALLE DE GUADALUPE UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Por medio de los Sistema de Información Geográfica (SIG) se realiza la visualización esquemática que provee la información integrada y pertinente para la descripción espacial del Valle de Guadalupe. Donde se enfatiza la cuantificación y clasificación de cuerpos de agua dulce semejantes a humedales. Esta información es importante, ya que dará conocimiento sobre los cuerpos de agua que existen, el uso que se les da y los atributos de ventaja y desventaja para la manutención de un humedal artificial.

2.1.1 Construcción del SIG para la Localización y Clasificación de Cuerpos de Agua Dulce Semejantes a Humedales

Primeramente, se colectaron datos descriptivos del Valle de Guadalupe en literatura científica disponible en internet y bases de datos de la biblioteca digital de la Universidad Autónoma de Baja California. Los datos de índole geográfico e imágenes de satélite fueron descargados de los sitios web de INEGI, CONAGUA, de la aplicación Google Earth Pro y de la plataforma Global Visualization Viewer (GloVis) manejadas por United States Geological Survey (USGS). Esta recolección de datos tiene el objetivo de obtener productos descriptores del socio-ecosistema de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe en las escalas 1: 250,000, 1: 50,000 y el caso de estudio a escala 1: 10,000 (Figura 6).

Utilizando la aplicación de Google Earth Pro y Google Maps, se localizaron geográficamente las vinícolas y negocios vigentes en 2015 (el más actual en dicha plataforma) que muestren al menos un cuerpo de agua dulce dentro de su propiedad. Con el fin de ubicar esta zona dentro de la cuenca hidrológica administrativa Tijuana-Maneadero, la información se integró en un mapa a escala 1: 250,000 siguiendo el diagrama de flujo (Figura 7).

Dentro de estos límites se localizaron, inventariaron y clasificaron los cuerpos de agua dulce semejantes a humedales existentes en el año 2015. Para ello, se empleó la técnica de fotointerpretación directa en imágenes de satélite de Google Earth y la aplicación de falso color land/water para la fotointerpretación de imágenes Landsat 8-OLI utilizando el siguiente proceso de pretratamiento y procesamiento de imágenes (Figura 8):

- 1) Se descarga una imagen de satélite Landsat 8-OLI/TIRS de la plataforma GloVis (USGS) con los siguientes criterios:
 - Imagen 2019 donde no se muestren alteraciones en el paisaje por eventos catastróficos como fuego.
 - Porcentaje de nubosidad menor al 20%
 - Path & Row: 039038
 - Nivel 1 (L1) – Corrección de Terreno en UTM, Datum WGS 84
- 2) Las imágenes descargadas tienen las siguientes especificaciones:
 - Tamaño del pixel
 - Bandas multiespectrales: 30 m.
 - Bandas pancromáticas: 15 m.
 - TIRS Bandas termales: 100 m.

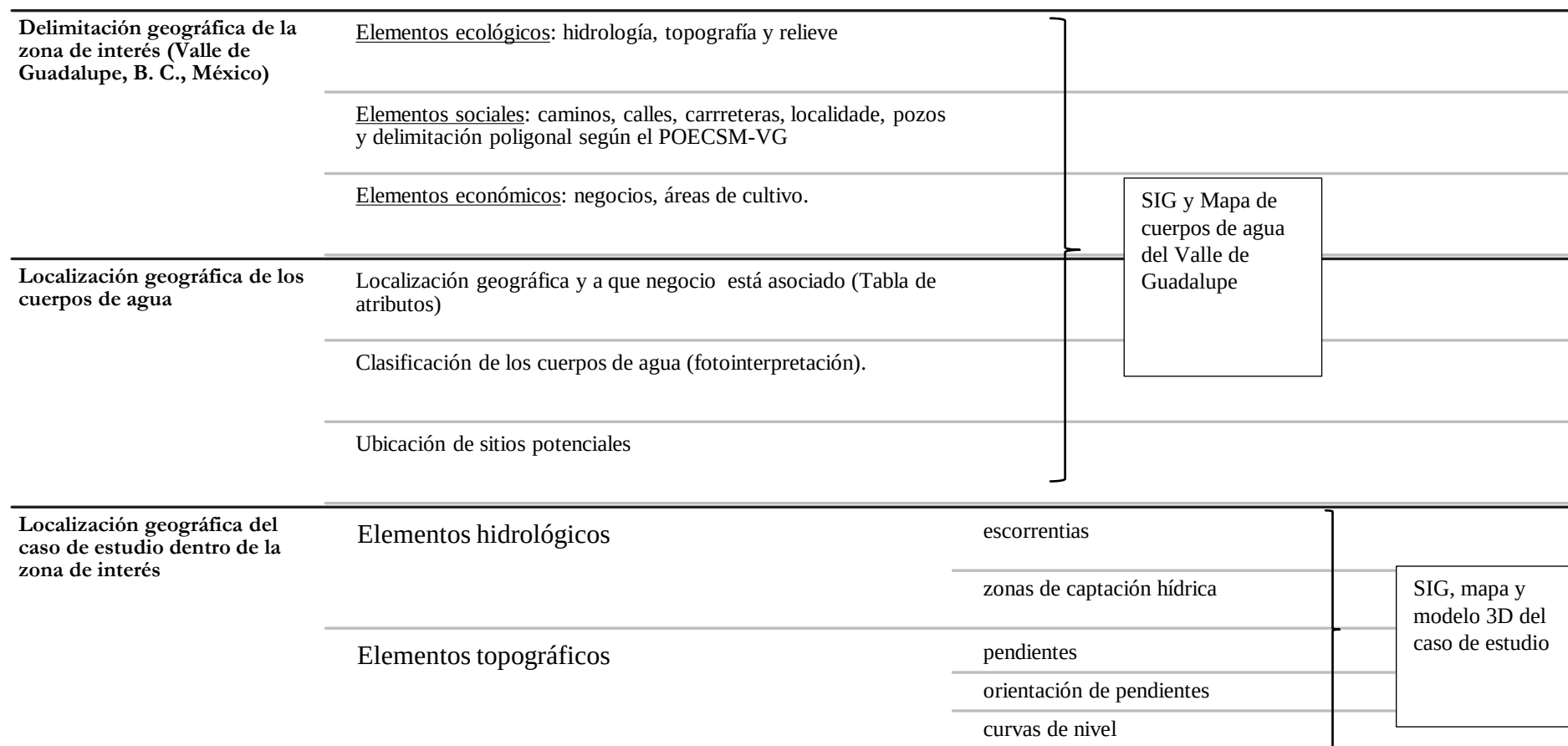


Figura 6. Mapa metodológico para el desarrollo del primer objetivo específico (Inventariar y clasificar los cuerpos de agua dulce en existencia en el Valle de Guadalupe semejantes a humedales), la descripción geográfica del segundo objetivo específico (Seleccionar y describir el caso de estudio: Clòs de Tres Cantos) y los productos esperados. Elaboración propia.

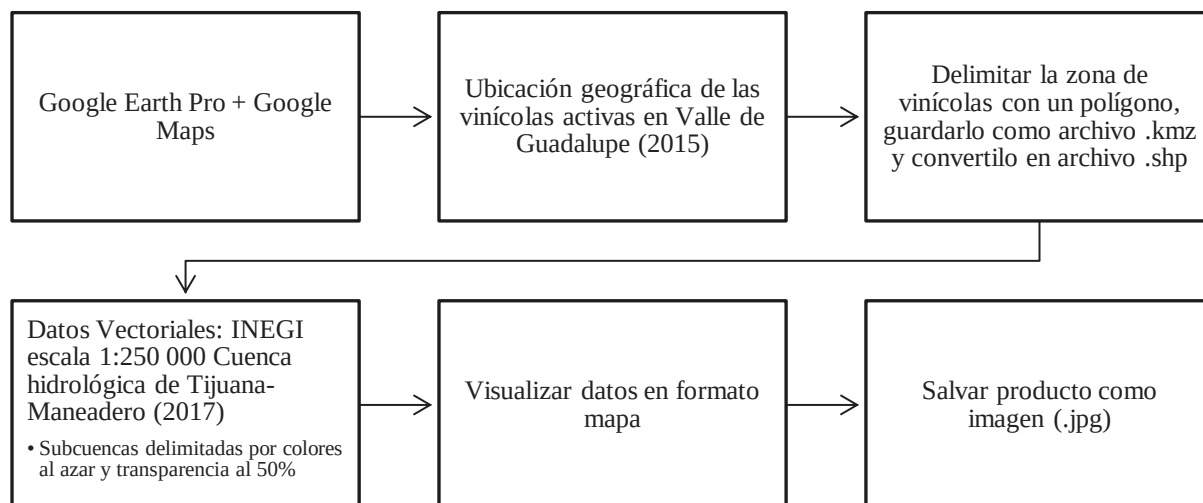


Figura 7. Diagrama de flujo para elaborar un mapa con la ubicación geográfica de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe dentro de la cuenca hidrológica administrativa correspondiente en el estado de Baja California. Elaboración propia.

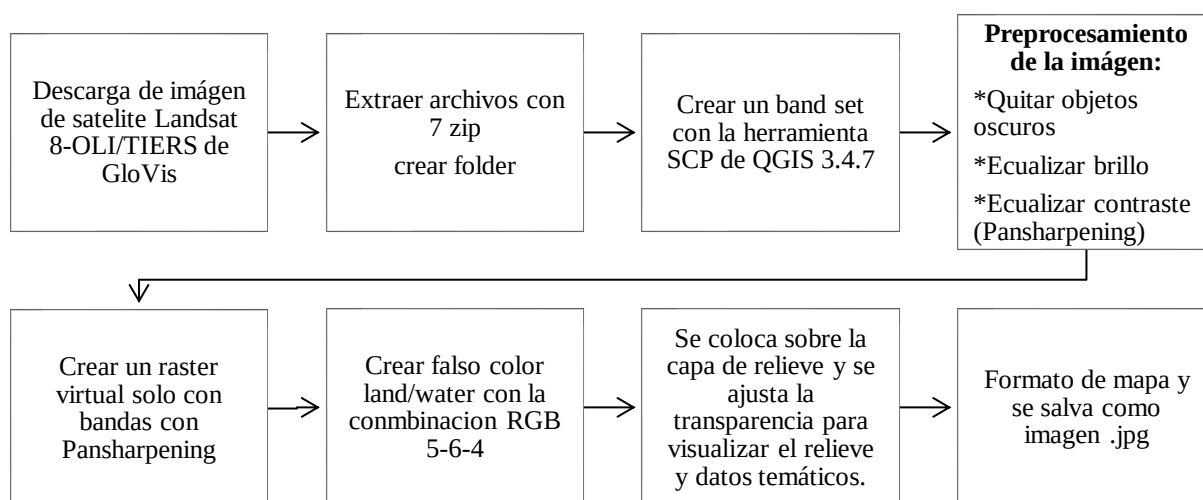


Figura 8. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8-OLI para la obtención de productos descriptivos de la zona de interés. Elaboración propia.

Se procesaron los datos obtenidos de INEGI a escala 1:50 000, mediante el software Quantum Geographical Information System (QGIS) 3.4.7 Madeira con Geographical Resource Analysis Support System (GRASS) 7.4.1, para tener una percepción amplia del socio ecosistema que comprende la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe; donde además se desea promover el uso sostenible de humedales artificiales (Figura 9). Por medio de los datos cartográficos, se localizó dicha zona y se delimitó a nivel local de acuerdo con su hidrología y los límites

territoriales designados por el programa de ordenamiento ecológico del corredor de San Antonio de las Minas – Valle de Guadalupe (Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006).

Para sustentar este SIG con los atributos de índole social y económico, se realizó el inventario de cuerpos de agua usando el software Excel de Microsoft Office. En esta tabla se encuentra la descripción de los negocios de índole privado asociados a la ubicación geográfica de los cuerpos de agua y su clasificación. Esta información se obtuvo por medio de Google Maps y Google Earth Pro (Anexo 1) a través del siguiente proceso.

Mediante la aplicación de Google Earth Pro, se localizaron geográficamente de forma puntual todos los cuerpos de agua que se pueden visualizar a 500 m (bird's eye view) y se clasifican según los siguientes criterios de descripción.

- Alberca o piscina: Depósito artificial de agua que se usa para fines recreativos, deportivos o decorativos, generalmente recubierto de concreto.
- Reservorio o cisterna: Depósito artificial de agua utilizado para captar y almacenar agua de lluvia para uso benéfico, generalmente recubierto de concreto, cemento o geomembrana plástica.
- Humedal: Superficie temporal o continuamente inundada, artificial o natural con o sin presencia de impacto antropogénico donde se ha establecido al menos una población de plantas acuáticas.

Los puntos identificados se integran a una tabla de atributos elaborada usando el software Excel y se guarda como archivo delimitado por comas (.CSV) con los siguientes datos:

- Coordenadas geográficas en grados decimales
- Localidad
- Nombre del negocio, predio o propiedad
- Clasificación forma: humedal, reservorio o alberca
- Clasificación uso: recreación, estético, almacenamiento, riego, etc.

Este archivo se descarga en la plataforma de QGIS 3.4.7 Madeira y se guarda como un archivo de datos vectoriales (.shp) con el sistema de referencia y coordenadas (SRC) WGS84/UTM Zona 11, generando una capa de cuerpos de agua dulce.

Se descargaron los datos vectoriales de topografía a escala 1:50,000 de las zonas H11B12 (Ensenada) y I11D82 (Valle de Guadalupe) originalmente en SRC: ITRF 2008 época 2010, edición 2015. Estos datos se transformaron a SRC: WGS84 / UTM Zona 11 y se seleccionaron

los conjuntos de datos que representan los atributos que describían o aportaban información sobre la región vitivinícola del Valle de Guadalupe. Cada capa es un archivo en formato *shape* al cual se le modificó su simbología, color, opacidad y tipo de letra (en las que aplicaban) para enfatizar su apreciación.

Las capas con elementos hidrológicos se representaron en tonalidades de azul. Las capas de infraestructura vial se representaron en negro. Los negocios o empresas tales como los viñedos, vinícolas y restaurantes se representaron en tonos de rojo y naranja. Las áreas de cultivo en verde claro y las delimitaciones regionales de la Subcuenca Guadalupe y su anexo Villa de Juárez según el ordenamiento y planeación de la Cuenca Guadalupe en tonos de marrón. Como producto se obtuvo un mapa de localización geográfica de los cuerpos de agua del Valle de Guadalupe.

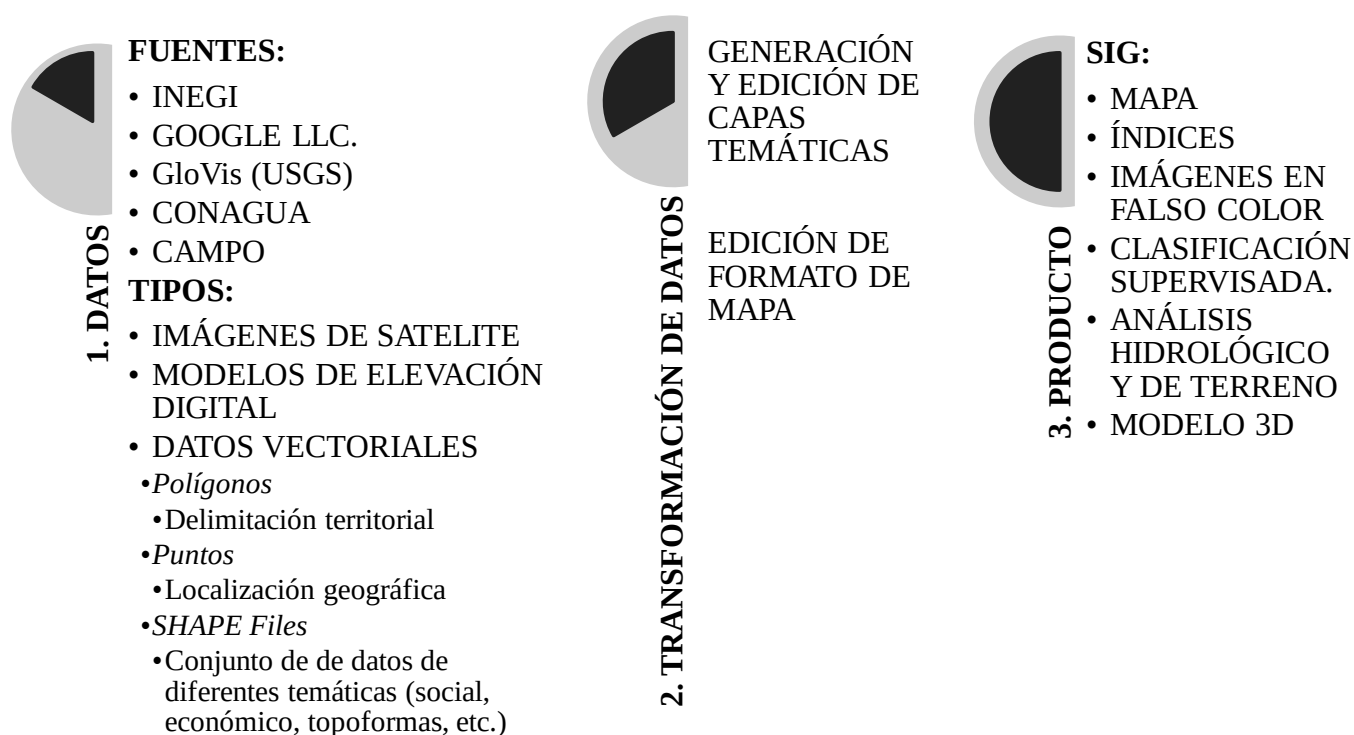


Figura 9. Proceso general utilizado para generar los sistemas de información geográfica del Valle de Guadalupe, el caso de estudio y los productos esperados para la visualización del primer objetivo específico (Inventariar y clasificar los cuerpos de agua dulce en existencia en el Valle de Guadalupe semejantes a humedales). Elaboración propia.

2.1.2 Descripción Espacial del Caso de Estudio Usando Sistemas de Información Geográfica

El caso de estudio se seleccionó mediante el ofrecimiento de la vinícola Clòs de Tres Cantos como contraparte en los proyectos A-347 y A-447 Río Arronte.

Siguiendo una metodología similar descrita en la Figura 9, se procede a construir otro SIG para la descripción espacial del caso de estudio. Este no puede integrarse al SIG del Valle de Guadalupe, ya que, para visualizar los atributos del caso de estudio se usa el modelo de elevación digital (MED o DEM por las siglas en inglés Digital Elevation Model) con mayor resolución espacial.

Este MED o DEM 1:10, 000 se descargó de la plataforma digital del INEGI y se trabajó usando el programa QGIS Madeira 3.4.7 con GRASS 7.4.1. A este modelo se le realizó un análisis de terreno, iniciando con una reclasificación de los datos de elevación y la aplicación del sombreado *hillshade*. Sobre esta capa se construyeron curvas de nivel con la herramienta *contour* con desplazamientos cada metro, se determinaron pendientes y la orientación de las mismas por medio de las herramientas de análisis *raster slope* y *aspect*.

De la aplicación Google Earth se obtuvo una imagen de satélite Landsat-Copernicus de la propiedad Rancho Santa Lucía y se georreferenció para lograr la ubicación espacial precisa del caso de estudio utilizando puntos de control y así facilitar su fotointerpretación.

Por medio de las herramientas disponibles en GRASS dentro del software QGIS 3.4.7 Madeira, se hizo un análisis hidrológico donde se determinó el parteaguas, zonas de captación de agua y escorrentías presentes en el caso de estudio, como se muestra en el siguiente diagrama de flujo (Figura 10). Utilizando las herramientas del programa IDRISI Selva se complementó el resultado de flujos con una clasificación supervisada de los flujos contribuyentes a la zona de captación hídrica y en relación directa al caso de estudio. Este resultado se exportó a QGIS para la edición de la capa e integración de datos en formato mapa y modelo 3D. Usando la herramienta Landscape Ecology Statistics (LECOS) se cuantificó el área de las zonas con mayor contribución de escurrimientos en pendientes por precipitación pluvial.

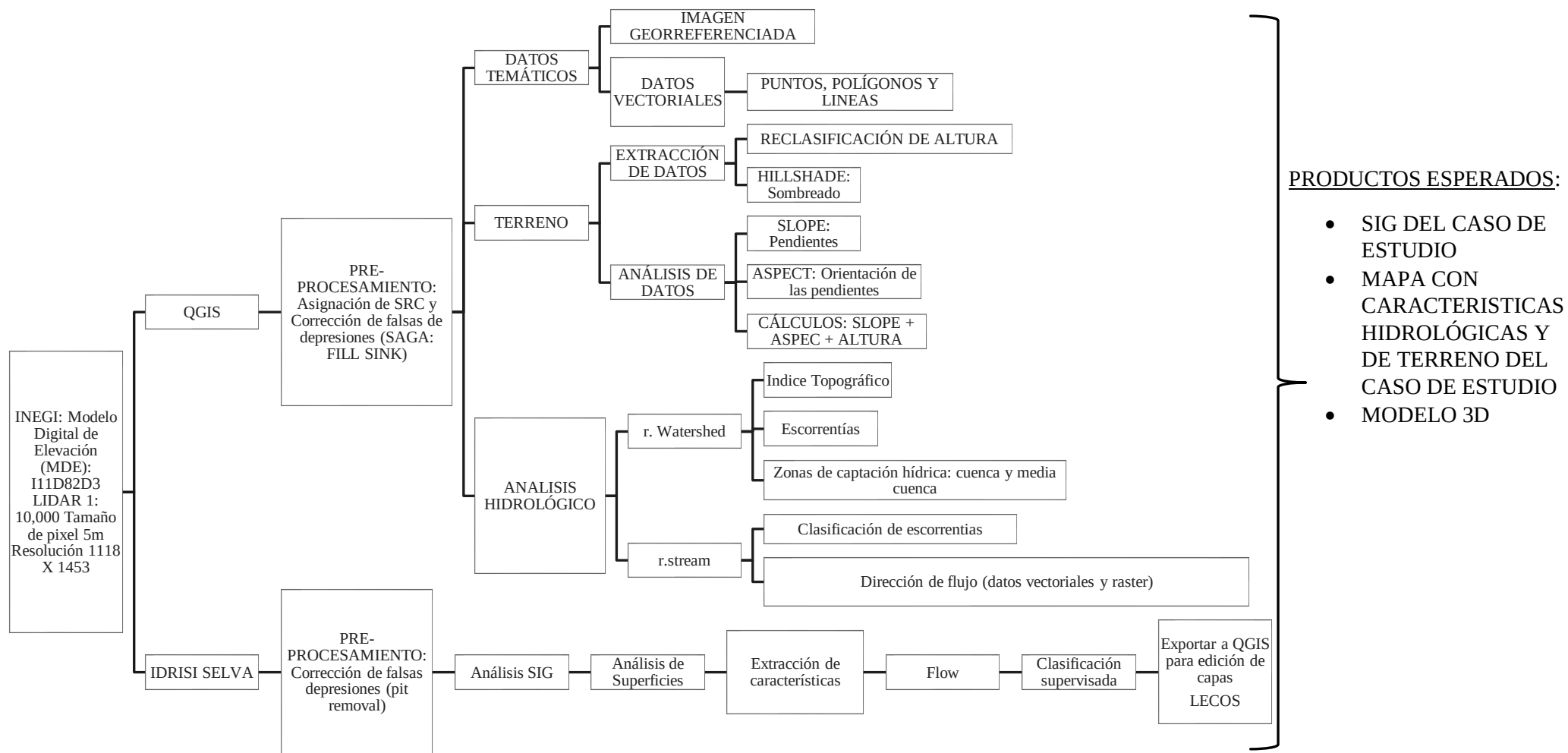


Figura 10. Diagrama de flujo para el análisis de terreno e hidrológico del caso de estudio que satisface el segundo objetivo específico (Seleccionar y describir el caso de estudio: vinícola Clòs de Tres Cantos). Elaboración propia.

2.2 TIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL: CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección del tipo de humedal artificial parte de la premisa que establece que los humedales artificiales son cuerpos de agua contruidos para imitar a los humedales que naturalmente ocurren en el medio ambiente, con el fin de mejorar la calidad de agua (Wu, et al., 2015). Al ser imitaciones de humedales naturales, se espera que los servicios, los valores y beneficios que se obtienen sean equivalentes al de un humedal natural. Por lo tanto, los humedales artificiales se construyen con base en su función y de los recursos disponibles para que éstos sean eficientes; ya que por definición debe ser lo más semejante a un humedal natural. Para decidir qué tipo de humedal es apropiado para el sitio de interés, se enlistaron las condiciones, necesidades y recursos del sitio. Además, se toma en consideración que cualquier recurso deficiente se debe proporcionar; cuestión que aumenta proporcionalmente tanto el costo como su valor.

El recurso natural más importante que mantiene un humedal sano es el agua. En una zona árida o semiárida, independientemente de la connotación social, el recurso hídrico es escaso y temporal. Solo por la cuestión ambiental no se debe discriminar hacia un sistema de humedal particular, se debe considerar el origen y tipo de agua que va a alimentar el humedal. Estas aguas pueden ser de origen natural y/o artificial y esta condición estará ligada a la función que desempeñará en el mismo (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011).

Se elaboró un diagrama de flujo (Figura 11) donde se incorporan los criterios más importantes que deben ser considerados en la toma de decisiones para la selección del tipo de humedal artificial óptimo según el sitio de interés.

La primera pregunta del diagrama de flujo es, ¿Cuánta agua hay disponible de forma temporal o constante para alimentar el humedal? Para responder esta pregunta se debe considerar si las aguas entrantes que alimentarán al sistema son pluviales, grises, tratadas, negras, escurrimientos agrícola o mineros, agua de pozo, aguas superficiales provenientes de arroyos, norias, etc. Si son de un solo tipo o de varios. Además del tipo de agua, también hay que cuantificar el agua entrante y si es posible disponer constantemente todo el año o de manera temporal. Por ejemplo, en el Valle de Guadalupe, las lluvias proporcionan una cantidad de agua de forma temporal e imposibilita la disposición de esa agua de forma constante a lo largo del año a menos que esta se almacene en otro sitio. Las aguas grises o residuales podrían ser un aporte constante, pero sería variable en cantidades intermitentes. Para responder adecuadamente la primera pregunta y tomar una decisión informada se deben revisar todos los elementos hidrológicos que influyen en el sitio de interés.

La segunda pregunta importante refiere a otro recurso limitante ¿Qué tanto terreno disponible se tiene para el humedal? La recomendación para discriminar entre un humedal de flujo superficial y uno subsuperficial se determina por el tamaño del fondo del humedal (Wu, et al., 2015). En humedales que exceden los 2,500 m² se manejan columnas de agua entre 0.3 y 0.5 m las cuales requerirán mantener volúmenes constantes de agua a lo largo del año entre 750 a 1,250 m³, respectivamente con capacidad de retención de 5 a 30 días. Esto se traduce a una fuente de agua que administraría al humedal entre 9,000 y 54,000 m³ de agua al año. Para esta situación donde las superficies son mayores a 2,500 m² y hay una fuente de agua abundante y constante; se recomienda un humedal de flujo superficial; de lo contrario se debe optar por un humedal subsuperficial (Wu, et al., 2015). Una vez delimitados estos dos criterios, se eligen las funciones que desempeñará el humedal y se procede a su diseño estructural, operacional y paisajista.

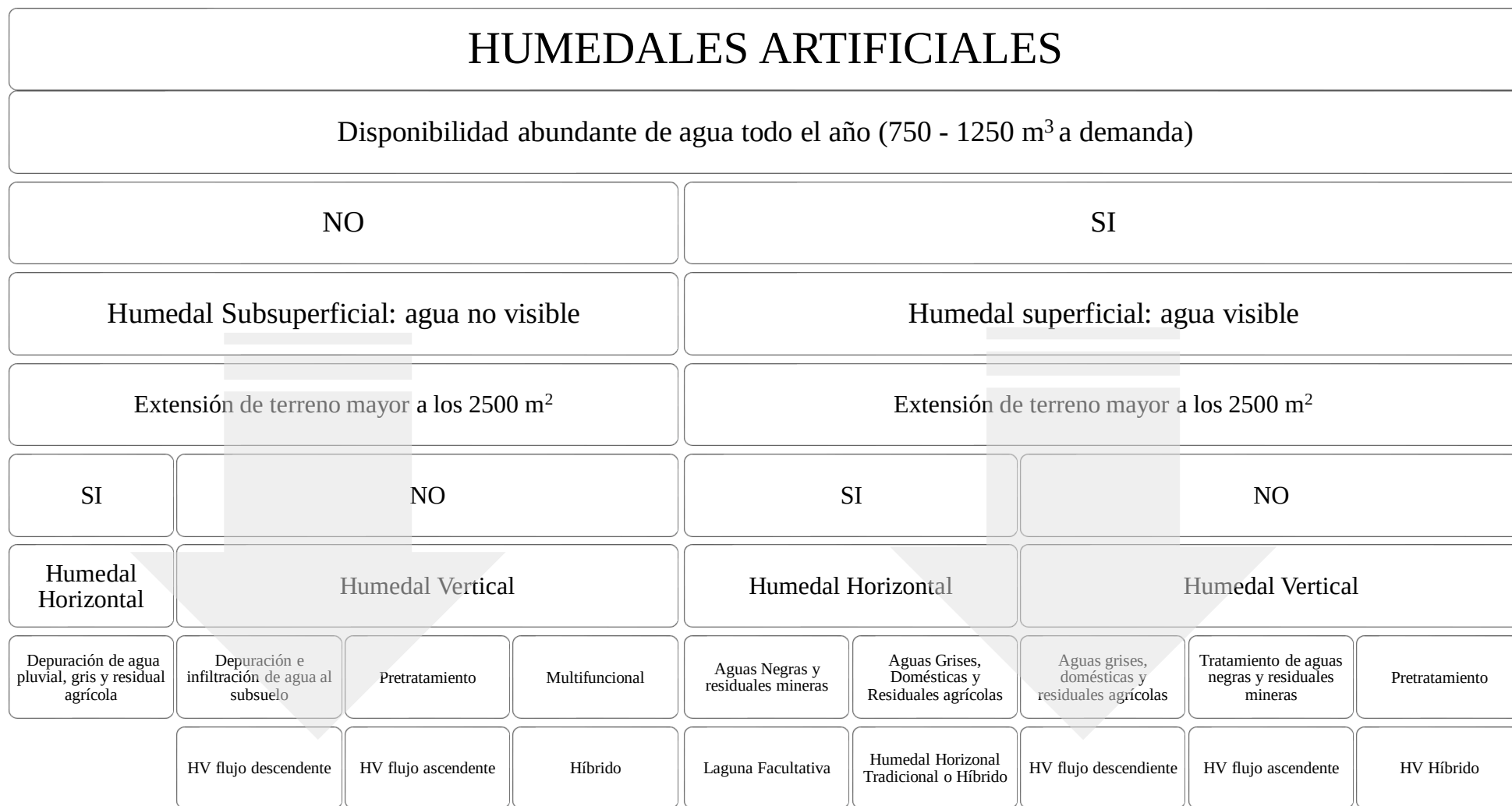


Figura 11. Diagrama de flujo para la toma de decisión para el tipo de humedal artificial que se puede implementar en un sitio con base en su disponibilidad de recurso hídrico y extensión territorial (Wu, et al., 2015). Elaboración propia.

2.3 METODOLOGÍA GENERAL PARA ELABORAR EL PLANO PAISAJISTA DEL CASO DE ESTUDIO

El plano paisajista tiene como objetivo mostrar la propuesta del humedal artificial bajo un concepto de diseño funcional que va de acuerdo a las necesidades del propietario (Miller, 2008), (Figura 12).

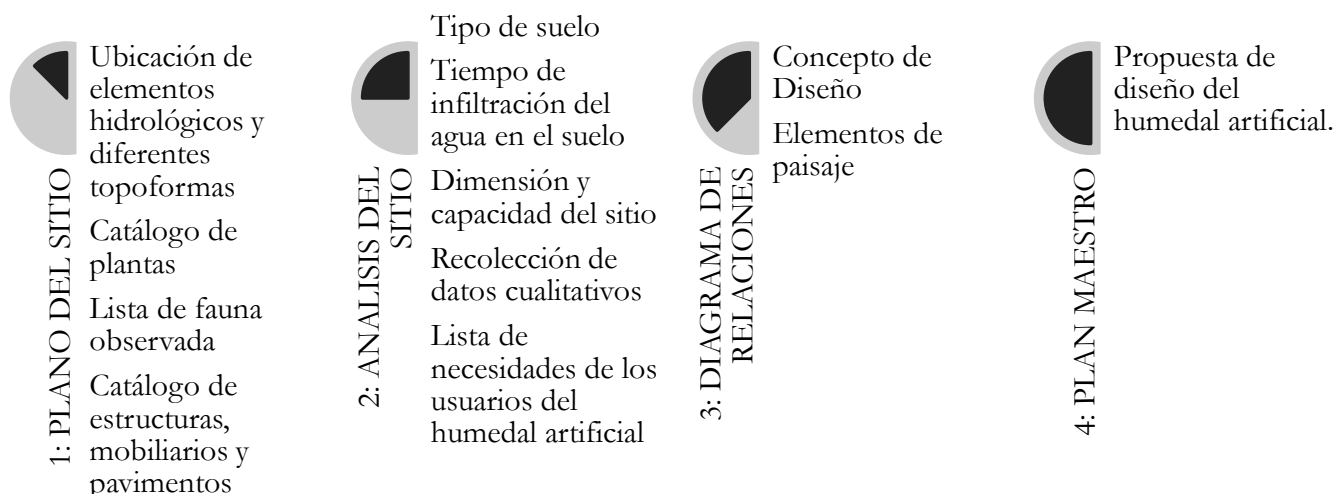


Figura 12. Estrategia metodológica para la elaboración del plano paisajista de acuerdo a Miller, (2008). Elaboración propia.

2.3.1 Elaboración del Plano del Sitio

La ubicación de los elementos hidrológicos y las topoformas que influyen de manera importante en el sitio se realizó *in situ* por observación directa y se documentó por bitácora y fotografía. De la misma forma, se determinaron los elementos principales de fauna y vegetación de influencia en el manejo del sitio y se elaboró un catálogo de vegetación (ANEXO 2. Catálogo de Vegetación del Caso de Estudio: Clòs de Tres Cantos). El listado de especies de flora y fauna se llevó a cabo utilizando fotografía de las especies observadas y su identificación *a posteriori* por medio de consulta a expertos y guías de campo.

Además, se clasificaron y documentaron por fotografía las diferentes estructuras, mobiliarios y pavimentos que se encuentran rodeando al sitio designado para el humedal. Esto se realizó con

el fin de utilizar materiales de construcción relevantes al estilo y diseño que se manejan en la propiedad y así incorporar fluidez en la visualización de forma estética.

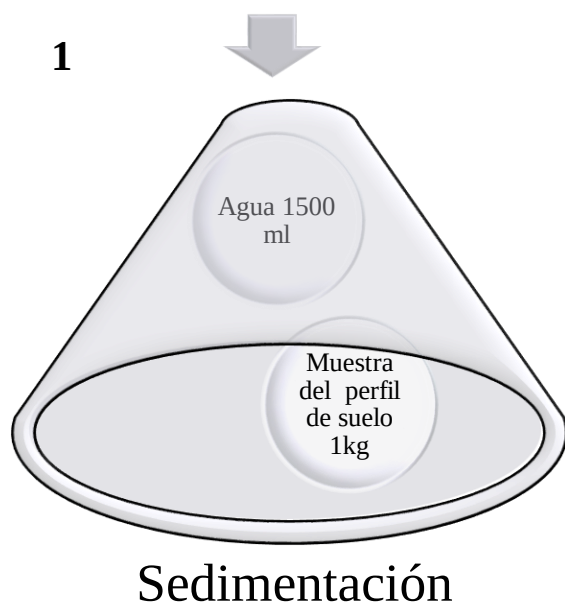
2.3.2 Análisis del Sitio

El análisis del sitio toma en cuenta los diferentes elementos biológicos, físicos y químicos, tales como la composición del suelo, tiempo de infiltración del agua, extensión, tipo de vegetación, fauna silvestre observada y posible volumen de agua con el que se cuenta para el diseño y construcción del cuerpo de agua. Estas características se obtienen aplicando diferentes instrumentos y metodologías de campo.

Determinación de Características Generales Físicas y Químicas del Suelo y Agua

Por medio del instrumento de campo GPS GLONASS BEIDOU se realizaron *in situ* las mediciones de terreno (perímetro y área). Con cinta métrica se midieron las pendientes de la depresión designada para la ubicación del humedal y se calculó la altura utilizando el teorema de Pitágoras. Los datos obtenidos se capturaron en bitácora de campo y se corroboraron usando las herramientas de medición de perímetro y área disponibles en la plataforma de Google Earth.

La composición del tipo de suelo se determinó con la siguiente metodología edafológica básica, comúnmente usada en jardinería, como se muestra en la Figura 13.



1. En un matraz Erlenmeyer de 2 L o recipiente de vidrio o plástico transparente se toma una muestra de suelo del perfil sedimentario del sitio de aproximadamente un kilogramo; procurando traer una muestra que contenga todas las capas sedimentarias del lugar.
2. Se añaden 1500 mL de agua al matraz o volumen determinado de agua para diluir la muestra.
3. Agite vigorosamente la muestra para poner en suspensión el sedimento y deje reposar por al menos 12 horas para obtener una sedimentación definida de la muestra de suelo.

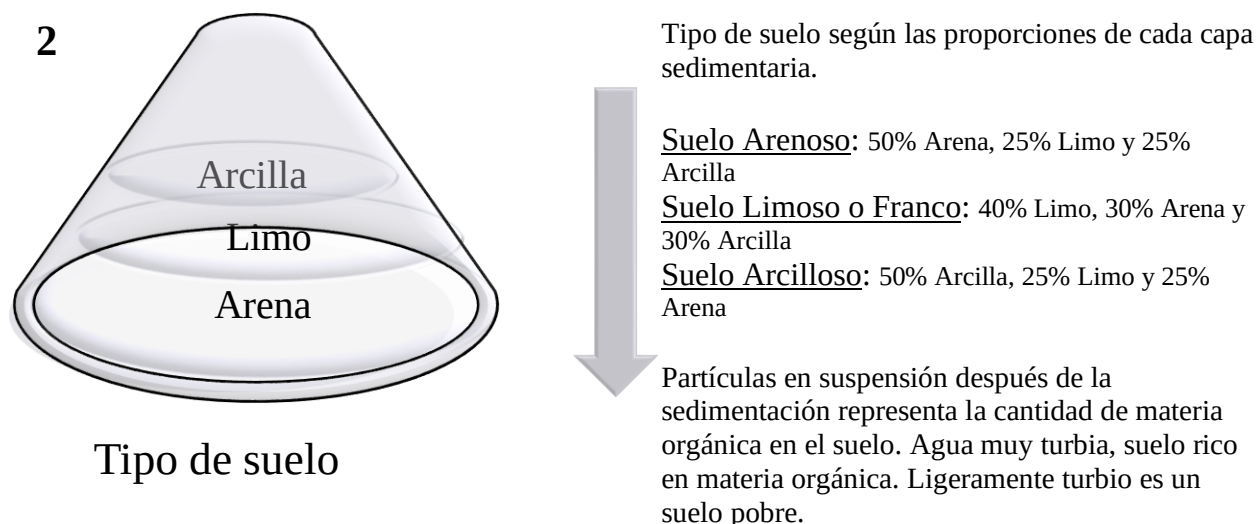


Figura 13. Determinación general del tipo de suelo y la velocidad de sedimentación del sitio utilizando técnicas edafológicas comúnmente usadas en jardinería (Miller, 2008).

De la misma forma, el tiempo de infiltración se determinó utilizando técnicas edafológicas de campo y observación directa según Miller, (2008), tal como se muestra en el siguiente diagrama de flujo (Figura 14).

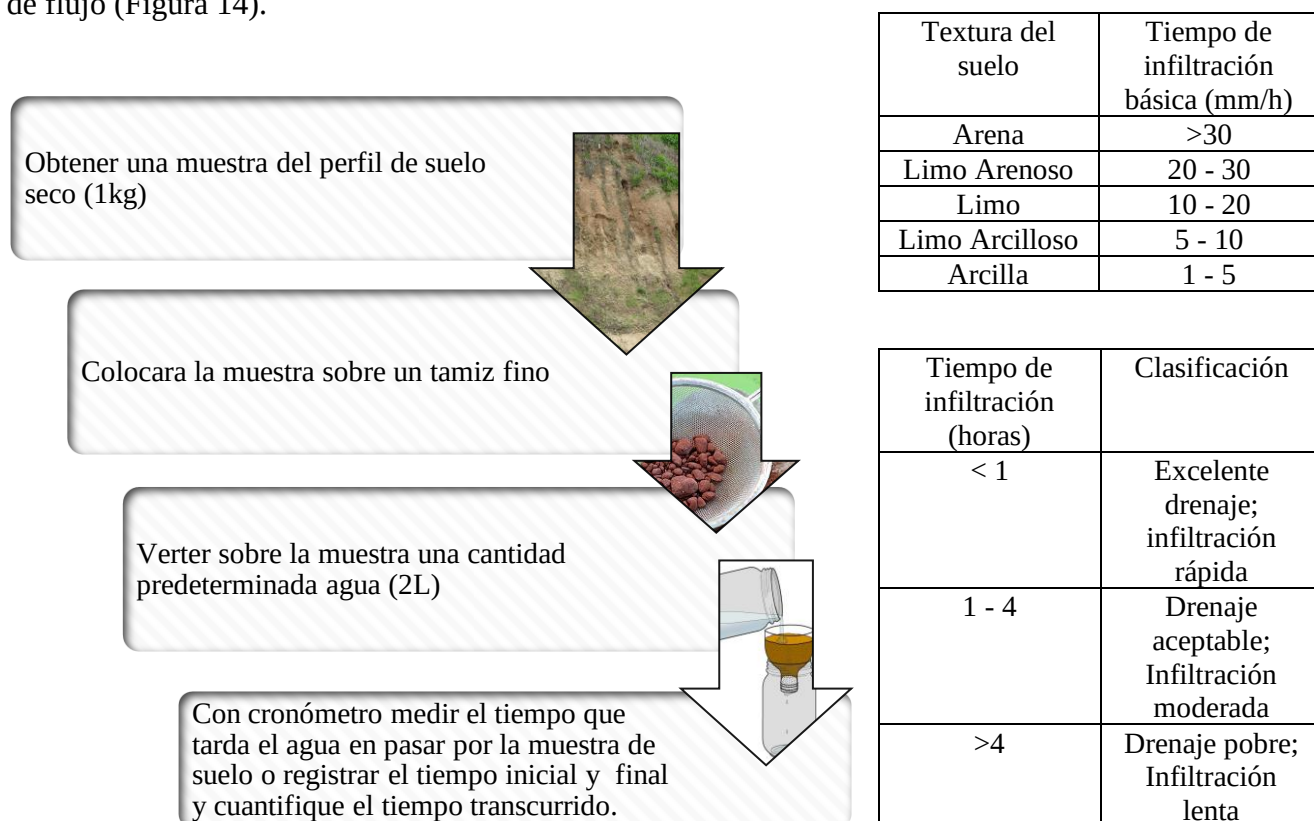


Figura 14. Metodología de la técnica de campo edafológica para medir el tiempo de infiltración de un suelo (Miller, 2008). Elaboración propia.

2.3.3 Metodología para la Obtención de Datos Cualitativos

Los datos de carácter cualitativo se recolectaron primordialmente por medio de la observación activa durante la exploración del ambiente donde se desarrolla el caso de estudio de acuerdo a la metodología de la investigación cualitativa descrita por Hernández Sampieri, et al., (2010) (Figura 15). Las observaciones se registraron en una bitácora junto con los datos cuantitativos en forma de lista, notas breves, dibujos, anotaciones sobre pláticas informales y fotografías. La estructuración y análisis de estos datos proporcionaron información descriptiva tanto del medio físico o entorno como del ambiente social y de las actividades humanas que se desempeñan alrededor del sitio. Las tareas analíticas se desarrollan usando diferentes herramientas tales como matrices, diagramas de flujo, mapas conceptuales y bosquejos. La interpretación final proporcionó los criterios de diseño de índole social que deberán ser considerados junto con los criterios ecológicos y físicos para una adecuación integral del sitio. El proceso de obtención y tratamiento de datos cualitativo no es lineal como en la recolección de datos cuantitativos. En este proceso el análisis y los resultados se fue ajustando con la obtención de más datos y se hicieron los cambios pertinentes para poder resolver la pregunta de investigación.

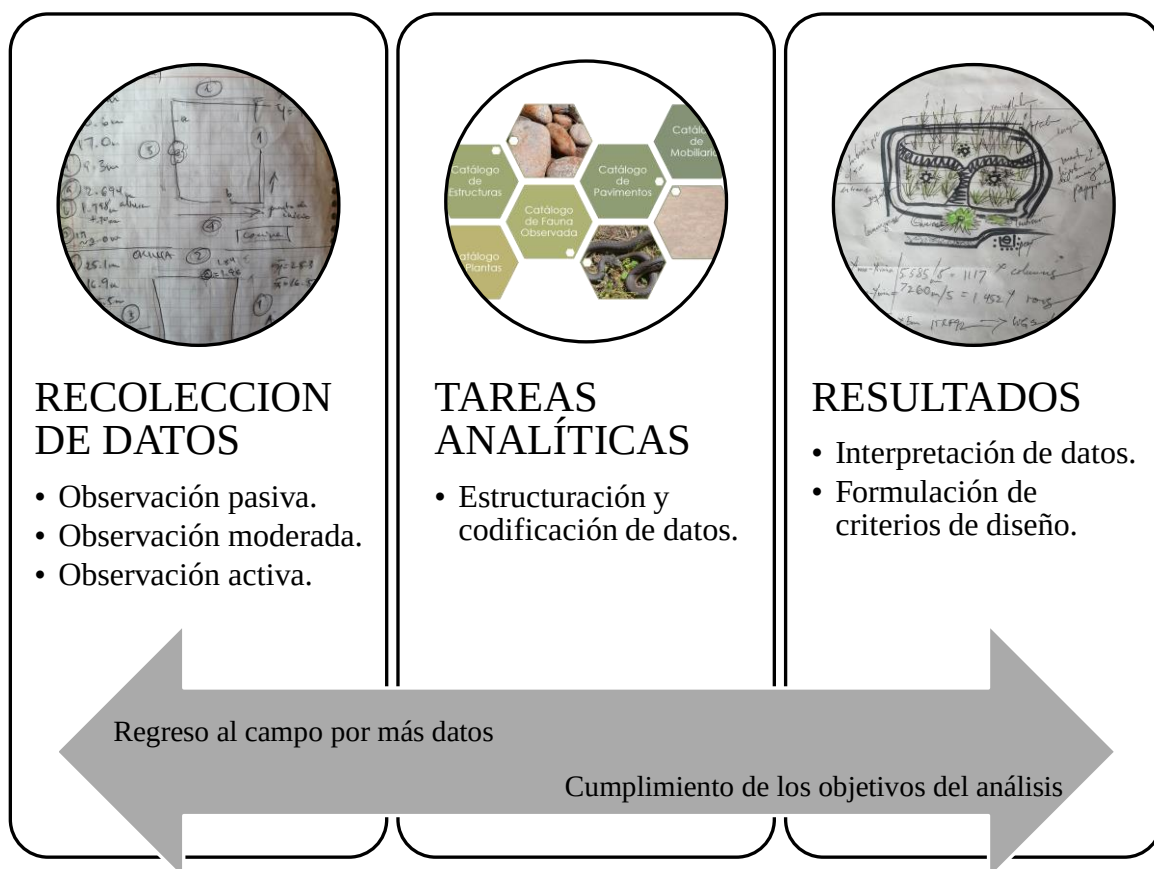


Figura 15. Metodología de la investigación cualitativa (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

2.3.4 Diagrama de Relaciones

El diagrama de relaciones muestra la ubicación armoniosa de los elementos que constituyen el paisaje según sus usos y la intensidad en que se usan dichos elementos. Este diagrama se construyó por medio de la interpretación de datos cualitativos y cuantitativos que conforman el paisaje del caso de estudio. Estos datos incluyen datos sensoriales del ambiente (olores, sonidos, sensación térmica, flujos del aire, percepción visual, humedad, elementos de confort, etc.), pláticas informales, entrevistas, comentarios de visitantes y la lista de necesidades de los usuarios del sitio. Esta lista de necesidades mostró los atributos y funciones que el sitio debe cumplir para su implementación y aceptación exitosa. La interpretación de datos cualitativos da como resultado el concepto de diseño del humedal artificial. Este concepto es la expresión artística que describe el sitio dándole las cualidades estéticas según los criterios establecidos para la percepción armoniosa del ambiente. Estos criterios son muy importantes, ya que por medio de estos se refleja la visión y misión del propietario y su empresa. La integración del concepto de diseño, elementos de paisaje y lista de necesidades de los usuarios, da los criterios de diseño para la construcción del humedal artificial visualizados en un mapa conceptual.

Como resultado final se obtiene el plan maestro. Este plano es la proyección artística del espacio donde se incluyeron los elementos de paisaje e ingeniería para la exitosa implementación del proyecto en la propiedad.

2.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: CRITERIOS DE SELECCIÓN

Como se mencionó anteriormente, en un ambiente árido, el limitante principal de un humedal artificial es el agua. Este recurso no se encuentra de forma permanente en la superficie del suelo, las lluvias son escasas y cuando son presentes son de forma temporal. Por lo tanto, el agua debe ser extraída del subsuelo, o acarreada de otro sitio, ya sea de origen natural o antropogénico. Para suministrar y dirigir el agua hacia el humedal, desde diferentes sitios de la propiedad donde se descarga o almacena el agua, se necesita construir una red hídrica y alterar el sitio para favorecer su captura. Retomando la premisa de que un humedal artificial debe imitar realísticamente un humedal natural, se deben considerar materiales durables de bajo impacto ambiental, renovables y, de ser posible, reciclables para que garantice la sustentabilidad del proyecto.

Además, para evitar problemas de reciclaje en el futuro, se recomiendan las siguientes medidas (Hernández Moreno, 2016):

- Evitar el uso de materiales compuestos que no puedan ser separados al término de su vida útil.
- No usar ni mezclar pegamentos con selladores al mismo tiempo.
- Diseñar elementos de fácil acceso para su remoción evitando la demolición.
- Reutilizar elementos constructivos en buen estado desechados de otras construcciones en un 25% de la obra.
- Incorporar criterios de desarrollo sustentable. Los cuales en general reconocen lo siguiente:
 - Los productos y los procesos son interdependientes del medio ambiente, de la economía del lugar y de la sociedad en cuestión (sistema sustentable) y manejando correctamente todos los elementos de este sistema sustentable podremos tener un manejo sostenible.
 - Implementa las medidas para prevenir que dicho sistema sea afectado.
 - Usa los recursos de manera eficiente previendo sus límites dentro del sistema.

No todos los materiales disponen de etiquetas que establecen si son o no amigables con el ambiente, por esta razón, se deben buscar materiales con las siguientes características (Hernández Moreno, 2016):

- Tienen baja o ninguna cantidad de emisiones químicas dañinas al ambiente, ya sea en uso interior o exterior de una edificación.
- No contienen compuestos tóxicos.
- Son durables y requieren de mantenimiento mínimo.
- Son materiales con contenido reciclable (ya sea proveniente de la industria o de desperdicio del consumidor).
- Son reusables y de fácil desmantelamiento o deconstrucción.
- Son fácilmente reciclables (mediante procedimientos económicos y amigables al medio ambiente).
- No contienen compuestos de Clorofluorocarbonos (CFC) u otras sustancias que destruyen la capa de ozono.
- Se obtienen del manejo sustentable de los recursos naturales.
- Se obtienen de productores locales.
- Durante su fase de transformación y producción gastan poca energía.
- Son producto de recursos renovables y/o reciclables.
- Son materiales biodegradables cuando su ciclo de vida útil termina.

Un humedal artificial además de tener elementos inertes, tanto artificiales como naturales, tiene elementos vivos. La vegetación que se implementa en este sistema es muy importante. Esta vegetación es de tres tipos, acuática, terrestre nativa y terrestre ornamental. Todas las especies seleccionadas deben ser nativas o naturalizadas a la región mediterránea de Baja California. Si alguna especie es difícil de conseguir se debe implementar una estrategia de propagación u optar por otra especie que sea de bajo impacto ambiental con un plan de manejo específico para la especie.

La selección de plantas acuáticas se fundamenta en el tipo de humedal artificial que se diseñe y a la función que desempeñará dentro del sistema (Figura 16).

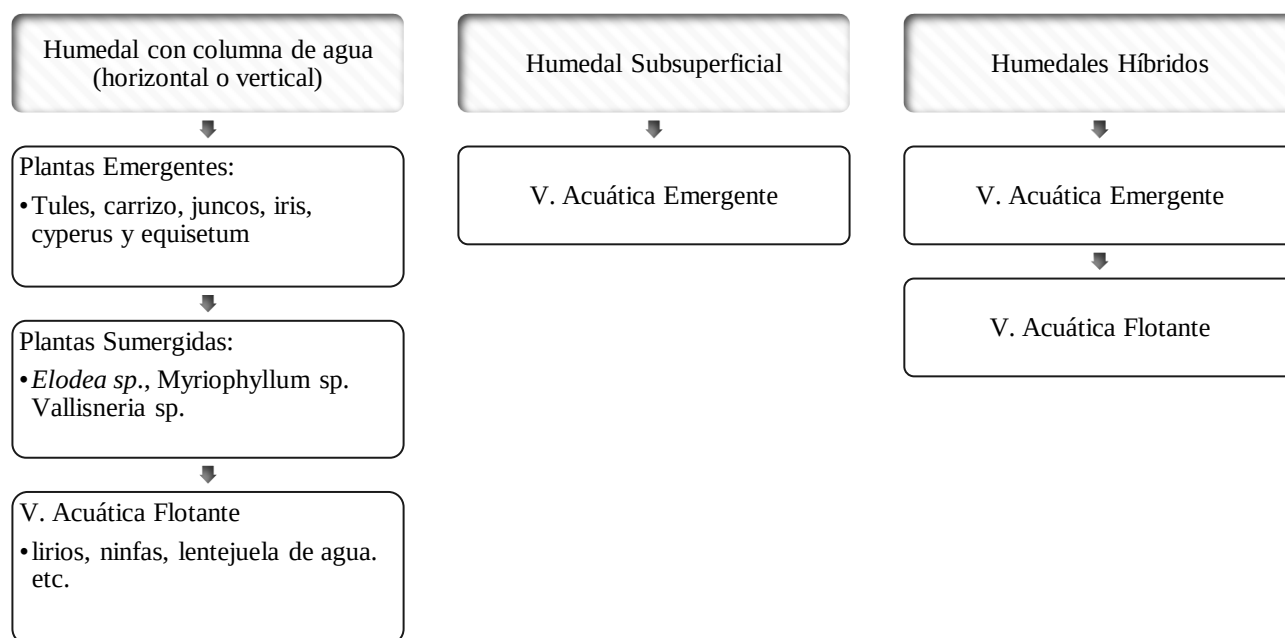


Figura 16. Proceso de selección de tipo de vegetación acuática a considerar según el tipo de humedal artificial. Elaboración propia basado en criterios según Hoffman, Platzer, Winker y von Muench (2011).

De la vegetación nativa presente en el sitio, se seleccionan especies que además de proporcionar elementos estéticos, tengan potencial en el desempeño de alguna función en el sistema como prevención de erosión en pendientes, absorción de contaminantes, uso gastronómico o medicinal. La vegetación ornamental, por lo general, consiste de especies exóticas o naturalizadas ampliamente utilizadas en jardinería. De este tipo de vegetación se seleccionan las especies que se adaptan a ambientes de transición acuático-terrestre, tolerantes a estar

sumergidas en la columna de agua por períodos largos y/o cuenten con atributos estéticos de uso gastronómico o medicinal.

2.5 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Una vez concluida la planificación del proyecto se prosigue a su implementación en el sitio. Este proceso se divide en cinco fases:

- 1) Fase Preliminar.
- 2) Desarrollo de diseño.
- 3) Documentos previos a la construcción.
- 4) Fase de construcción.
- 5) Final de la construcción.

En la fase preliminar se realiza una zonificación, que consiste en ubicar los espacios más sensibles y vulnerables, los espacios de uso y aquellos que desempeñan alguna función especial y relacionarlos con el manejo sustentable de forma integral, para posteriormente seleccionar los materiales adecuados para dichos espacios.

En la fase de desarrollo y diseño se deben de establecer las especificaciones necesarias para los requerimientos de diseño utilizando materiales de bajo impacto ambiental y proponer detalles constructivos para cada material, de acuerdo a sus características, propiedades, costo y disponibilidad. Con documentos previos a la construcción se refiere al manejo de los materiales y los sistemas de construcción empleados según las metas definidas en el plan general de diseño.

En la fase de construcción se obtienen todos los materiales seleccionados y se verifica que su origen sea confiable. Se aplican los criterios de diseño en la implementación y la construcción del sistema y se manejan los residuos de forma responsable para minimizar el impacto ambiental.

Finalmente, se concluye la construcción y se verifica que el sistema funcione según las especificaciones planteadas. Se capacita y se implementa el plan de manejo del sistema, donde se plantea un esquema de seguimiento para el mantenimiento óptimo del humedal y se establece un plan de deconstrucción del sistema por si no es requerido en un futuro.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA VITIVINÍCOLA DEL VALLE DE GUADALUPE

El Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor de San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe (POECSM-VG), (2006), describe la ubicación del Valle de Guadalupe a 25 Km al norte de la ciudad de Ensenada y 85 Km sur de la ciudad de Tecate, con una extensión de 66,353 hectáreas y perteneciente a la región hidrológica RH1, subcuenca C, denominada Río Guadalupe que cubre una superficie total hasta su desembocadura de 2,420 Km².

La cuenca Guadalupe, la cual se puede subdividir para su estudio en las subcuencas Ojos Negros, Guadalupe y La Misión, se ubica entre los paralelos 31°51' y 32°15' norte y los meridianos 115°52' y 116°51' oeste (Figuerola Núñez & Campos Gaytán, 2018). El Valle de Guadalupe yace dentro de los límites de la subcuenca Guadalupe donde además se encuentra ubicado el acuífero Guadalupe cubriendo una superficie de 976 Km². Limita al norte con el acuífero Las Palmas, al este con Real del Castillo, al sur con Ensenada y al oeste con La Misión, todo ellos en el Estado de Baja California (CONAGUA, 2020).

Según POECSM-VG-2006, el Valle de Guadalupe está delimitado según las actividades productivas, las modalidades de uso de los recursos y servicios ambientales, de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, no por sus elementos hidrológicos. Es por eso que hay una zona de traslape entre la delimitación territorial del valle con respecto a su delimitación hidrográfica. En esta zona de traslape se encuentra la delegación de San Antonio de las Minas, la cual es suministrada de agua de la subcuenca Ensenada-El Gallo (Figura 17). Consecuentemente, en el Valle de Guadalupe la única fuente de agua, tanto para el poblado como la zona industrial vitivinícola, proviene del acuífero subterráneo abastecido por la subcuenca Guadalupe, el cual ha sido estudiado ampliamente en diferentes líneas de investigación (Daesslé, et al., 2006; Daesslé, et al., 2020).

Independientemente de la delimitación hidrográfica, este valle cuenta con un ecosistema tipo mediterráneo y la vegetación dominante es de tipo chaparral. La actividad predominante hasta recientemente ha sido la agricultura de tipo mediterráneo europeo. Los principales cultivos son la vid (uva para vino), olivo, hierbas de olor y hortalizas adaptadas a ambientes de lluvias invernales y veranos cálidos y secos.

Dentro del Valle de Guadalupe se encuentran tres poblados, Francisco Zarco, El Porvenir y San Antonio de las Minas. En estos poblados, además de los cultivos mediterráneos, se encuentra flora ornamental exótica comúnmente usada en jardinería. De estas especies se encuentra flora naturalizada y especies invasivas comúnmente encontradas en zonas de chaparral y algunas especies introducidas como elementos de ornato.

En los últimos veinte años, el crecimiento de la industria enológica propició un cambio en el uso de suelo de agrícola a industrial, ya que en esta zona se produce la mayor cantidad del vino nacional de calidad internacional. El desarrollo acelerado en esta área propició conflictos derivados por los distintos intereses y el mal manejo de los recursos por los usuarios locales y el sector productivo (sector vitivinícola, gastronómico y turístico). Para la solución de estos conflictos se realizó el Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe, publicado en septiembre del 2016 en el periódico oficial del gobierno del estado. En este documento se determina el patrón de ocupación y los mecanismos de solución de conflictos ambientales identificados en la zona. Se presentan los conceptos de ordenamiento territorial y ordenamiento ecológico para la planeación del uso del suelo, el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales de la zona.

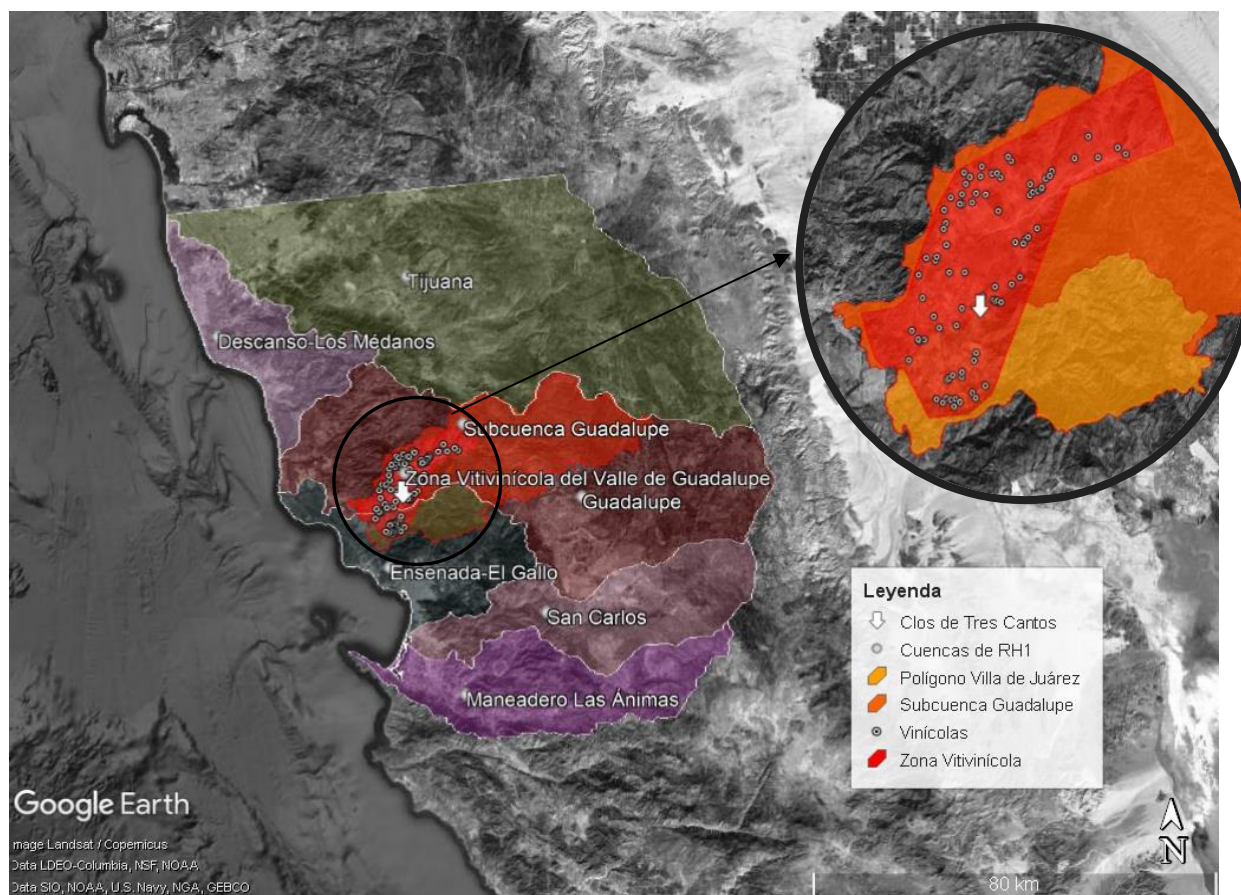


Figura 17. Mapa que muestra la Región Hidrológica 1, donde se muestra ubicada la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe dentro de la cuenca Guadalupe. Datos tomados de cartas hidrográficas digitales escala 1 : 250, 000 y datos vectoriales de (INEGI, 2017). Elaboración propia.

3.1.1 Inventario de Cuerpos de Agua Dulce Semejantes a Humedales

El polígono de interés tiene una extensión de 71.6 Km (perímetro) y comprende un área de 196 km², calculado usando las herramientas de Google Earth Pro. En el mapa se ubican los cuerpos de agua dulce en existencia hasta el año 2015 (Figura 18). Este inventario proporciona la información sobre los tipos de cuerpos de agua dulce que se encuentran en esta zona, ya sean naturales o artificiales y su uso actual.

Dentro de la delimitación poligonal, se encontraron tres tipos de cuerpos de agua dulce de origen antropogénico. Estas construcciones se clasifican como, 1) albercas o piscinas recreacionales, 2) reservorios o captadores de agua con diseño de cisterna expuesta de concreto o con recubiertas por geomembrana de PVC y 3) cuerpos de agua de forma irregular que califican con al menos uno de los requisitos de humedal artificial según (Cowardin, Carter, Golet, & LaRoe, 1979; Wu, et al., 2015).

No se encontró ningún cuerpo que califique con la definición de humedal natural. Aunque si se encontraron algunos sitios de origen antropogénico que funcionan como charcas vernaes o espejos de agua y se consideraron como humedales. El inventario (ANEXO 1. Inventario y clasificación de cuerpos de agua del Valle de Guadalupe.), contiene la ubicación geográfica de los cuerpos de agua en coordenadas geográficas expresadas en grados, minutos y segundos, la localidad o poblado en donde se encuentran y el nombre del negocio al que están asociados. Aquellos cuerpos que no están asociados a un negocio se encuentran en blanco y se considera que son parte del predio de alguna propiedad privada de tipo residencial por la ausencia de datos disponibles. Este inventario alimenta el SIG construido a escala 1:50, 000 y se visualiza en formato de mapa en la Figura 18.

En el Valle de Guadalupe se encontró que hasta el 2015, hay al menos 121 cuerpos de agua dulce de los cuales 59 son albercas o piscinas recreacionales, 47 son reservorios o captadores de agua y 15 humedales artificiales (Tabla 3). La mayoría de los humedales artificiales se encuentran asociados a un negocio de índole enológico. Las vitivinícolas de esta región utilizan la propiedad y edificaciones como atracción turística para atraer a clientes y promocionar sus productos e imagen. Por lo tanto, el uso de estos humedales artificiales tiene una funcionalidad estética y/o recreativa de gran peso al que puede o no estar aunada la función de captación y almacenamiento de agua de lluvia para irrigación.

Tabla 3. Cuantificación de los cuerpos de agua de la región vitivinícola del Valle de Guadalupe con base a fotointerpretación de imágenes de satélite del 2015. No se encontraron humedales naturales en la imagen analizada.

CUERPO DE AGUA	TOTAL	EL PORVENIR	FRANCISCO ZARCO	SAN ANTONIO DE LAS MINAS
Albercas o piscinas	59	20	14	25
Humedales artificiales	15	6	3	6
Reservorios o cisternas	47	21	10	16
Total	121	47	27	47

Zona Vitivinícola del Valle de Guadalupe, B.C., México

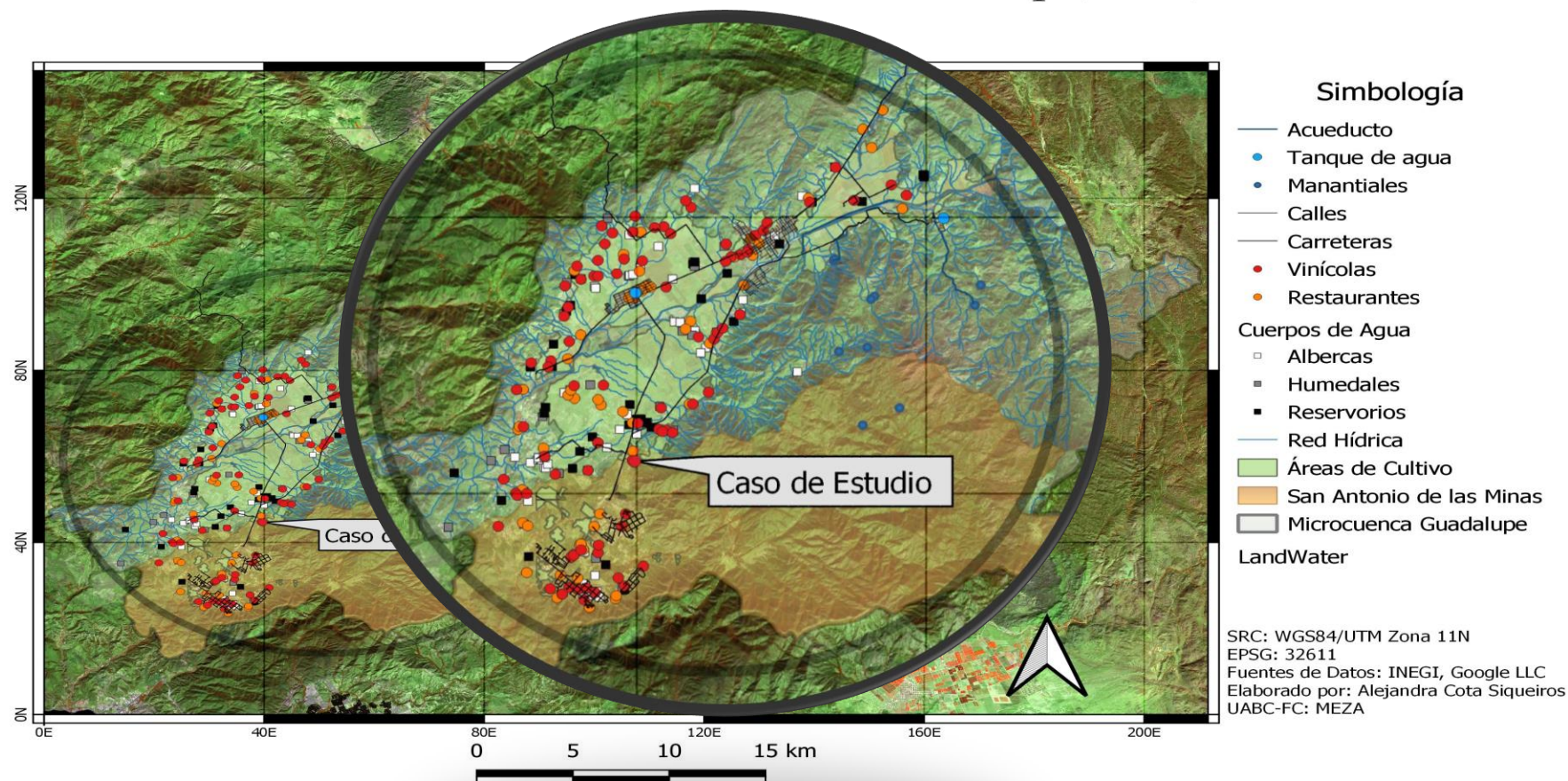


Figura 18. Descripción geográfica con magnificación de la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe incluyente de inventario de cuerpos de agua dulce; identificados por fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat/Copernicus del 2015 y complementados con cartas topográficas y MDE de INEGI e imagen de satélite Landsat 8 2019 de GloVis-USGS.

3.2 Descripción del Caso de Estudio: Vitivinícola Clòs de Tres Cantos

La vinícola Clòs de Tres Cantos se encuentra dentro del predio Rancho Santa Lucía ubicada geográficamente dentro del polígono delimitado como la zona vitivinícola del Valle de Guadalupe en las coordenadas geográficas de 32.014591° latitud norte y 116.626485° longitud oeste. En la Figura 17 y 18 se muestra, que el caso de estudio se encuentra dentro de la subcuenca Guadalupe en proximidad de la subcuenca Ensenada-El Gallo.

Las edificaciones de la vinícola fueron diseñadas por el arquitecto Alejandro D' Acosta utilizando materiales reciclados para lograr una apariencia artística y estética con estilo monasterial desde pared a mueble para enfatizar la filosofía de los propietarios de conciencia ambiental (Fotografía 1). El artículo del sitio web Saborearte describe la esencia de esta vinícola como la expresión de una filosofía de trabajo que engloba el amor por la tierra, el vino y una visión de sustentabilidad enfocada ante todo al beneficio social.



Fotografía 1. Concepto de diseño monasterial del arquitecto Alejandro D' Acosta usando materiales reciclados y de reúso para enfatizar la filosofía de trabajo de los propietarios. Fotografía propia.

Los propietarios y creadores de la marca de vino Clòs de Tres Cantos que, literalmente significa encierro de tres cercos, son Joaquín Moya y María Benítez. Su visión es crear un lugar para experimentar la vida y transferir conocimiento, para promover la educación, la cultura, la creatividad y la innovación. Además, se hace un esfuerzo para transmitir un mensaje de sostenibilidad y respeto por el medio ambiente con el fin de dejar un legado de orgullo en el presente y en el futuro. Este enfoque de sostenibilidad se trabaja con los aspectos ecológico, económico y cultural-social. En el aspecto ecológico se enfocan en que todas las instalaciones estén definidas por diseño sustentable y eficiencia energética amigable con el medio ambiente. En el aspecto cultural-social se enfocan en la participación social para fomentar la educación y la diversidad cultural de la zona. En el aspecto económico se enfocan en incrementar oportunidades de trabajo para la gente de la comunidad para mantener un crecimiento sostenido y con utilidad a largo plazo.

El sitio para el humedal artificial se encuentra en la parte más baja de la propiedad próximo al restaurante Ariete (Figura 19). El restaurante tiene como visión ofrecer una experiencia gastronómica al aire libre para obtener una conexión directa con la tierra y los ingredientes de la región y platillos propios del estado. Por lo tanto, es de suma importancia que el humedal artificial sea un espacio que se integre en su diseño, tanto con la visión del restaurante como la de la vinícola, para ofrecer una experiencia integral. En la Figura 19 se resalta, por medio de un polígono, el sitio de interés dentro del Rancho Santa Lucía. Este se encuentra en la parte media al sureste de la propiedad. Dentro de este polígono, se encuentra la excavación que delimita la zona de adecuación para el establecimiento del humedal artificial. Comprende una extensión de terreno de aproximadamente 300 m² (medición de campo utilizando GPS GLONASS BEIDOU) el cual corrientemente funge como charca vernal. Su aspecto corresponde a los captadores de agua de lluvia o reservorios de concreto comúnmente encontrados en el Valle de Guadalupe según los resultados obtenidos en el inventario de cuerpos agua (Fotografía 2).

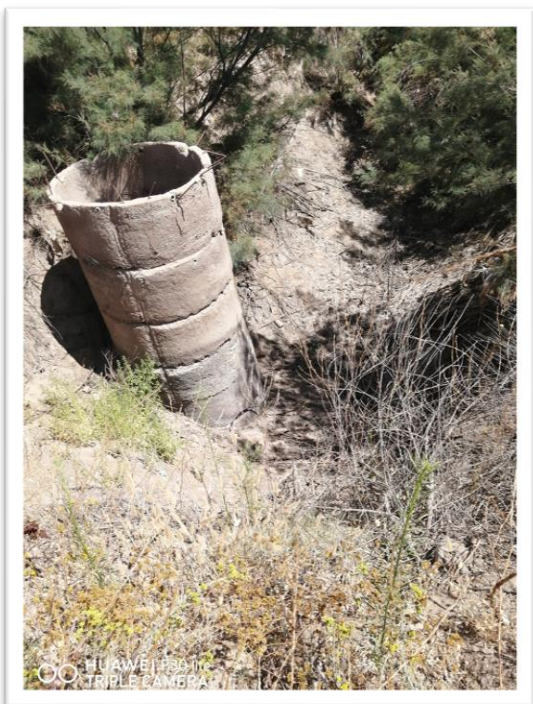


Figura 19. Localización del sitio del humedal artificial dentro de la propiedad Rancho Santa Lucía. Los límites de la propiedad, se encuentran marcados con líneas en color naranja. El polígono azul se refiere a la zona de influencia directa del humedal artificial. Elaboración propia utilizando imágenes de satélite de Google Earth.

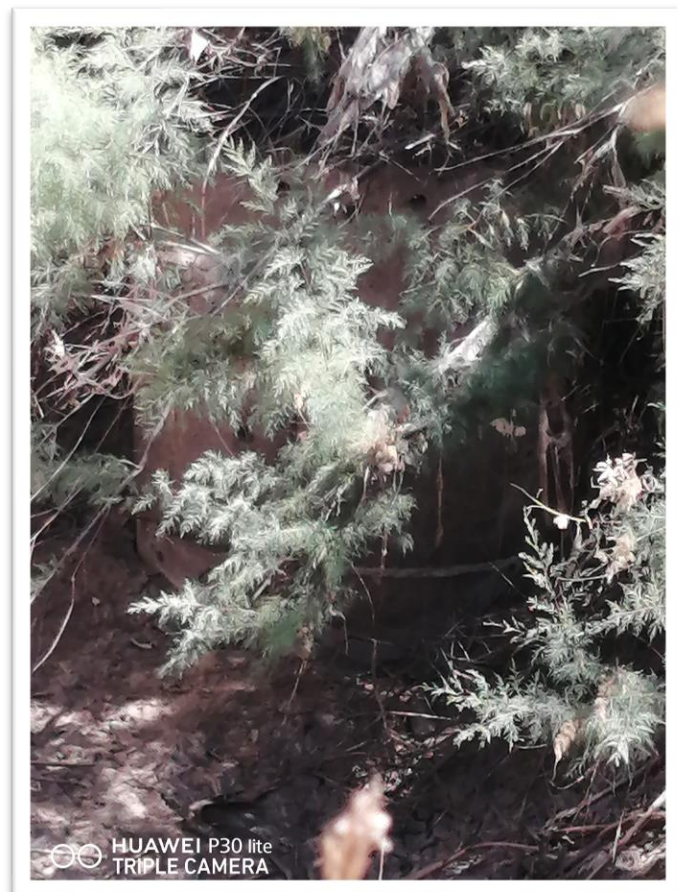


Fotografía 2. Sitio designado para el humedal artificial. Fotografía propia tomada al inicio de la temporada de lluvias (2019). Esta excavación corrientemente funge como una charca vernal.

Se le denomina noria al cuerpo de agua que corrientemente funge como un captador de agua y humedal temporal, que además contiene dos perforaciones que llevan tal connotación (Fotografía 3, 4 y 5; 62 p.). Este cuerpo tiene una extensión de aproximadamente 200 m² con una profundidad de aproximadamente 5 metros (resultado de campo obtenido por GPS GLONASS BEIDOU).



Fotografía 3. Perforación de tipo noria de aproximadamente 5 m de altura ubicada dentro de la depresión de terreno anexo al sitio designado para el humedal artificial. Esta estructura es fácil de discernir incluso en imágenes de satélite. Fotografía tomada en temporada de verano, por lo tanto, la depresión se encuentra totalmente seca. Fotografía propia.



Fotografía 4. Segunda perforación (noria) de aproximadamente 2 m de altura encontrada oculta por vegetación en proximidad de la primera perforación de mayor altura. Fotografía propia tomada en verano 2019.



Fotografía 5. Noria durante la temporada de lluvia (6/4/2019). Fotografía propia.

Los datos obtenidos del caso de estudio se integraron a un SIG donde se analizó el terreno y la hidrología por medio de un modelo digital de elevación de escala 1:10,000 siguiendo la metodología previamente descrita (Figura 10). Se calcularon las curvas de nivel, puntos altos, pendientes y orientación de las mismas con la finalidad de lograr visualizar la dirección de las escorrentías superficiales en el área, así como la zona de captación hídrica de este lugar. Se localizó el sitio en un lugar favorable para la captación de precipitación pluvial. Este análisis de terreno e hidrología se visualizan de forma general por medio de un mapa que resalta dichos atributos (Figura 20) y un modelo 3D (Figura 21) donde se localiza al sitio dentro de la subcuenca Guadalupe, en proximidad a la línea divisoria de aguas o parteaguas entre las subcuencas Guadalupe y Ensenada-El Gallo.

Por medio del índice topográfico y la clasificación de pendientes del terreno, se puede visualizar la zona de captación hídrica que influye en el caso de estudio. Se observa que el sitio designado para la ubicación del humedal se encuentra sobre una escorrentía de captación hídrica moderada que abastece tanto la noria, el pozo y el pozo del terreno vecino. Este resultado indica que el sitio es ventajoso en su ubicación para el desarrollo de un humedal pequeño de baja capacidad hídrica (Figura 20).

El modelo tridimensional (Figura 21), ofrece una visualización de la dirección del flujo de las escorrentías dependientes de la topografía del sitio. Cabe mencionar que el modelo digital de elevación más actual disponible en la plataforma de INEGI es edición 2012. En este año, la propiedad todavía no se desarrollaba. Por lo tanto, permite una visualización del terreno previo a la construcción de la vinícola y demás edificaciones. La principal modificación es el aplanamiento del terreno en donde se ubica corrientemente el restaurante y el sitio designado para el humedal se encontraba sin excavar. La única depresión observable es donde se ubica la noria; que se encuentra en directa proximidad al sitio del humedal. Aunque la pendiente del terreno favorece el flujo natural incluso con las modificaciones para ubicar el restaurante, las pendientes de piso del humedal deben de modificarse ligeramente para obtener un flujo natural por gravedad y evitar el uso de bombas innecesarias, incrementando tanto la eficiencia energética del sistema como el de flujo.

Análisis de Terreno e Hidrografía del Caso de Estudio: Clòs de Tres Cantos, Valle de Guadalupe

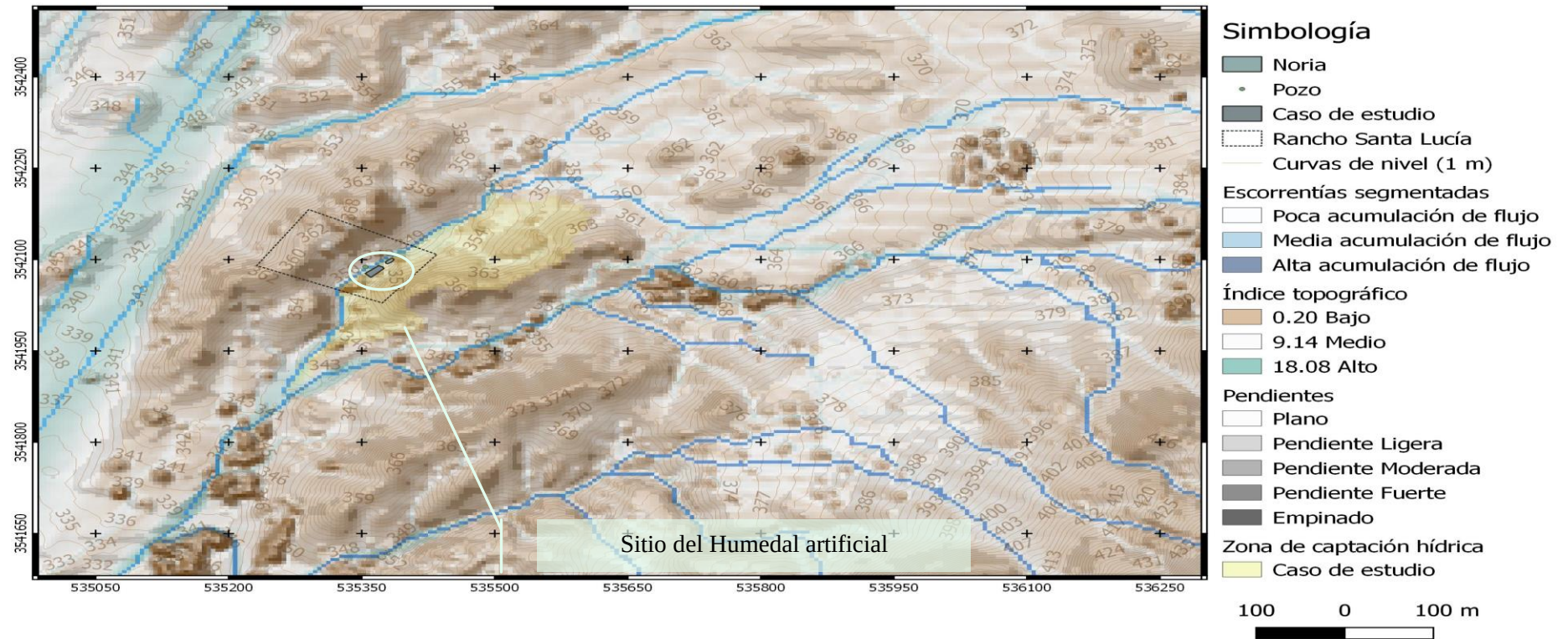


Figura 20. Mapa de localización del caso de estudio dentro de la propiedad de Rancho Santa Lucía en valle de Guadalupe, B.C. México. Se observan elementos hidrológicos de relevancia tales como escurrimientos de agua superficial, ubicación del pozo, noria y zona de captación hídrica (tono amarillo). Además, elementos de topografía tales como curvas de nivel, pendientes e índice topográfico. MED 1:10,000 de alta resolución LiDAR, superficie ASCII con tamaño de pixel 5 m obtenido de INEGI edición 2012. Elaboración propia.

Modelo Tridimensional del Caso de Estudio: Clòs de Tres Cantos, Valle de Guadalupe

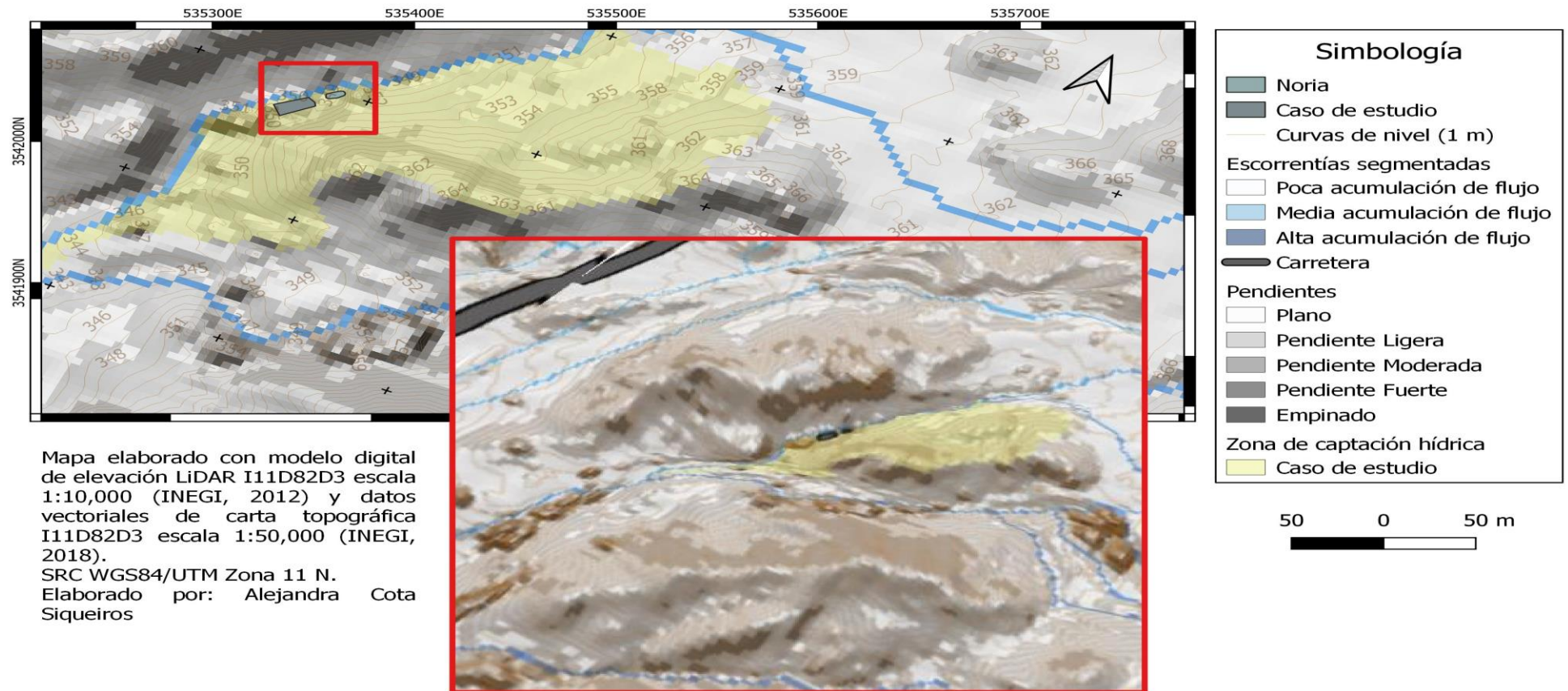


Figura 21. Modelo tridimensional para la visualización de los elementos topográficos e hidrológicos que influyen en el sitio de estudio elaborado con un modelo de elevación digital de alta resolución LiDAR, superficie ASCII, con resolución de 5m a escala 1:10,000 disponible de INEGI edición 2012. Elaboración propia.

3.1 TIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL: CRITERIOS DE SELECCIÓN

De primera instancia se entrevistó de forma informal a la propietaria sobre la visión que tienen del proyecto. De la conversación se identificó el siguiente listado de necesidades:

- Un humedal artificial que permitan la infiltración del agua captada hacia el subsuelo para tener una fuente de agua limpia para abastecer el pozo.
- Uso mayoritario de plantas nativas o naturalizadas.
- Una columna de agua que pueda soportar peces pequeños.
- Bajo costo de inversión y manutención.
- Posibilidad para la captura de agua tratada y/o agua gris.

Con base en el diagrama de flujo (Figura 11) y la extensión de tierra designada para el humedal, la cual es menor a los 2,500 m², se concluye que, por tener una dimensión pequeña y por la disponibilidad temporal y escasa de agua pluvial, la adaptación de un humedal subsuperficial es la mejor opción para el sitio.

La Tabla 4 compara los humedales horizontales y verticales de flujo superficial (HSH y HSV) y flujo subsuperficial horizontal y vertical (HHSS y HVSS). Esta comparativa se realizó por medio de la codificación de los descriptores del caso de estudio y las características generales de cada sistema según (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011) y (Wu, et al., 2015). La lista de atributos obtenida de la codificación de datos cualitativos se dividió en cuatro ejes, ecológico, económico, social y tecnológico para identificar de forma integral los servicios ecosistémicos, ambientales y tecnológicos que ofrece cada tipo de humedal artificial; aquellos atributos en cumplimiento con los atributos deseados se marcaron con un asterisco. La contabilización de marcas presentes da un puntaje total que facilita la decisión entre el tipo de humedal que se desea desarrollar. Por lo tanto, la Tabla 4 recomienda que se desarrolle un humedal subsuperficial de flujo vertical.

La desventaja de este tipo de humedal, con respecto a la lista de necesidades del propietario, es la impracticabilidad de mantener una columna de agua visible que pueda mantener peces pequeños. Es posible incorporar en el diseño de un humedal subsuperficial, tanto vertical, horizontal o híbrido, un espacio en donde de manera temporal se tenga una columna de agua sin peces. Si en un futuro este sitio se alimenta de una fuente de agua constante a lo largo del año (agua tratada) se podrá mantener en la columna de agua algunas especies de peces pequeños, tales como *minnows*. Siempre y cuando, el agua no contenga concentraciones de cloro (hipoclorito de sodio o calcio), ya que, este compuesto es altamente tóxico para peces.

Tabla 4. Tabla comparativa entre los humedales horizontales y verticales de flujo superficial (HSH y HSV, respectivamente) y de flujo subsuperficial horizontal y vertical (HHSS y HVSS, respectivamente). Los atributos en cumplimiento con la lista de necesidades de los propietarios son marcados con (*).

EJE	ATRIBUTO	HHS	HVS	HHSS	HVSS
Ecológico	Alimente el pozo de forma directa (infiltración)				*
	Mínimo requerimiento de agua del pozo				*
	Aislante natural			*	*
	Mínima proliferación de insectos			*	*
	Plantas Flotantes	*	*		
	Plantas Sumergidas	*	*		
	Plantas Emergentes	*	*	*	*
	Evita la eutrofización			*	*
	Evite la formación de lodos			*	*
	Mínima producción de gases malolientes			*	*
	Requiere extensión de terreno menor a 2,500 m ²		*		*
	Incrementa la calidad del agua	*	*	*	*
Económico	Bajo costo de inversión			*	*
	Bajo costo de mantenimiento				*
	Atractivo turístico	*		*	*
	Aumento en la plusvalía de la propiedad	*	*	*	*
	Disminuye los costos de agua para la manutención del sistema			*	*
	Disminuye los costos de agua para riego			*	*
	Mayor costo de materiales de construcción				*
	Costo mínimos por daños por inundación				*
Social	Dentro del reglamento del Plan de Ordenamiento SM-VG		*	*	*
	Vínculo con invernaderos ecológicos y productores locales	*	*	*	*
	Promoción de estrategias sustentables			*	*
	Promoción de educación ambiental			*	*
	Vínculo y apoyo a culturas indígenas locales			*	*
Tecnológico	Promoción de tecnología sustentable			*	*
	Tecnología innovadora adaptada a zonas áridas			*	*
	Sistema multifuncional			*	*
	No requiere pretratamiento de aguas residuales	*	*	*	*
	Opción híbrida	*	*	*	*
	Incorporación de diseño para prevenir daños por inundación			*	*
	No requiere tecnología adicional (aireadores, generadores de oleaje, fuentes, etc.)			*	*
	TOTAL DE PUNTOS	9	10	24	30

Los humedales superficiales se descartan por el alto mantenimiento requerido y la incapacidad de suministrar de forma constante una cantidad demandante de agua. Este mantenimiento incluye obtener, propagar y mantener mayor diversidad de plantas acuáticas y los costos asociados en la obtención de perfiles de química del agua y estrategias para la minimización de algas formadoras de tapetes. Además, para mantener una columna de agua se requiere invertir en una geomembrana plástica de PVC (polietileno de alta densidad) o PVR (polietileno reforzado) sacrificando la infiltración del agua por el humedal comprometiendo la calidad de agua del sistema. En este caso, se tendría que extraer el agua que sale del humedal y bombearla por un filtro para poder abastecer al pozo sin comprometer su nivel de calidad.

¿Por qué las cisternas o reservorios que encontramos en el Valle de Guadalupe han resultado ineficientes para almacenar agua? Por medio de la fotointerpretación de imágenes de satélite con buena resolución espacial se determina que estos reservorios se encuentran revestidos con concreto, cemento, o geomembrana plástica de PVC o PVR. Analizando las propiedades de los materiales más comunes para la construcción de estos sistemas según (Anaya Garduño, 2011), el cemento y el concreto incrementan la temperatura del agua promoviendo la evaporación. El calentamiento del material por exposición directa del sol también permite que las capas subsecuentes del aplanado no se adhieran correctamente permitiendo la infiltración de agua al subsuelo; sobre todo cuando se encuentran secas. Estos materiales tampoco son recomendados para zonas sísmicas por la facilidad de formar grietas que resultan en pérdida de agua por filtración. Con base en un análisis de su costo-eficiencia, la geomembrana es más aceptable como material, pero requiere más trabajo en su implementación elevando su costo. La geomembrana plástica no es recomendada para suelos arenosos (tipo de suelo común en el Valle de Guadalupe), ya que estos suelos tienden a desplazarse con el tiempo y se pierde la compactación de las paredes del reservorio permitiendo la infiltración y el crecimiento de vegetación que tienden a dañar el material. En conclusión, tomando en cuenta que el Valle de Guadalupe se caracteriza por tener una proporción significativa de suelos arenosos, es parte de una zona sísmica, es una zona semiárida donde las temperaturas durante el día son altas y hay poca vegetación arbórea, un captador de agua expuesta revestido de cemento, concreto o geomembrana de PVC o PVR tendrá costos altos de manutención para mantener la integridad del reservorio; además de los costos asociados a problemas que conllevan a tener agua estancada por períodos largos de tiempo (algas, malos olores, insectos, lodos, etc.). Estos sistemas por no incluir las características del ambiente resultan en altos costos de mantenimiento bajando considerablemente su eficiencia y valor ambiental. Es por eso, que un humedal artificial es una mejor opción para esta zona, ya que este es más flexible en su diseño,

y en la elección de materiales de construcción. Además, no solo es incluyente de los elementos ambientales, sino también de aspectos, económicos y sociales.

3.3 PLANO PAISAJISTA

Este resultado, además de dar una planificación para la implementación del humedal, da el conocimiento para el mantenimiento y desarrollo del sitio en el futuro.

3.3.1 Plano del Sitio

Los elementos de paisaje se clasificaron en elementos vivos e inertes. Los elementos vivos se dividieron en una lista de fauna observada (Figura 22) y un catálogo de vegetación (ANEXO 2. Catálogo de Vegetación del Caso de Estudio: Clòs de Tres Cantos), el cual incorpora las especies que se encuentran en el sitio y la vegetación recomendada para cumplir con la definición de humedal.



Figura 22. Especies de fauna observada en el sitio de estudio. Fotografías de rana toro y azulilla de estanque obtenidas de naturalista en <http://www.naturalista.mx>. Fotografía de araña saltarina y culebra acuática tomada por Judith Pampa. Fotografía de lagartija de cerco occidental tomada de (File: Western Fence Lizard Courting.jpg., 2020). Fotografías propias de rayadora flameada y rana arbórea de Baja California.

En adición a la fauna observada, la fauna característica de esta zona incluye conejo, liebre, zorrillo, lagartijas, serpientes ratoneras y cascabel, correcaminos, cuervo, diversos tipos de aves residentes y migratorias, coyote e insectos en general (moscas, mosquitos, arácnidos, hormigas negras, escarabajos) (Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006).

El catálogo de vegetación expone las especies de flora que se encuentran en el sitio para darle al propietario una herramienta de consulta sobre el tipo de vegetación deseada e indeseada para su futuro mantenimiento. Además, se incluye la vegetación sugerida q para obtener los resultados de calidad de agua que se esperan del humedal. El catálogo maneja el color de fondo de las hojas para resaltar el tipo de vegetación. Se muestra en hoja de fondo blanco las especies nativas, en tonos de amarillo las especies naturalizadas, de anaranjado las especies exóticas (tono claro para las exóticas no invasivas y oscuro para las exóticas invasivas) y de verde las especies recomendadas de índole acuático o de transición. Esta información se maneja en la primera hoja del catálogo de forma ilustrativa como se muestra en la siguiente Figura 23. La información de cada especie se ilustra con el siguiente ejemplo (Figura 24).



Figura 23. Organización de la información de cada especie encontrada y recomendada para el sitio de estudio.

Adenostoma Fasciculatum Chamizo



<http://www.botanicayjardines.com/adenostoma-fasciculatum/>

Figura 24. Ejemplo del contenido del catálogo de vegetación.

Los elementos inertes se dividieron en catálogo de estructuras, pavimentos y mobiliarios. Las estructuras observadas en el sitio de estudio, cuentan con muros de piedra laja y canto rodado sin junta de poca altura para contener jardineras y delimitar el espacio del restaurante. En la sección de la vinícola se encuentran edificaciones con materiales de reúso como botellas de vidrio en ventanas, enladrillado de roca sin junta y con junta en escalones y edificaciones con piedra laja y canto rodado (Figura 25).

Se identificó mobiliario de madera estilo rústico campirano con elementos de herrería en el restaurante (Figura 26). En la sección de la vinícola, mobiliario rústico y moderno minimalista con elementos de herrería y/o vidrio transparente, piezas de concreto; escultura de concreto, madera y metal (Figura 27).



Enladrillado de roca escalonado



Canto rodado



Enladrillado sin junta



Botella de vidrio



Emplastado texturizado



Emplastado con mural



Piedra laja

Figura 25. Catálogo de estructuras. Fotografías propias.



Puente de madera



Mesa y silla rústica



Silla rustica de madera con herrería



Decoración rústico campirano

Figura 26. Mobiliario del restaurante anexo al sitio para el humedal artificial.



Puertas vidrio con marco de madera
estilo moderno



Escultura de metal estilo moderno



Sillón individual de madera de concreto estilo moderno



Fogón de metal de reuso estilo rústico



Decoración campestre con elementos rústicos-modernos

**Figura 27. Mobiliarios de la vinícola Clòs de Tres Cantos, ensamble de piezas de materiales de re-
uso, rústicos y modernistas para obtener una decoración campirana moderna. Fotografías propias.**

Los pavimentos, tanto en el caso del sitio de estudio como en la vinícola, se cuenta con piso de arena, grava media y tierra suelta (Figura 28).



Grava media y piso compactado de arena



Piso compactado de arena gruesa



Escalonamientos con madera y tierra suelta



Piedra laja y tierra suelta

Figura 28. Catálogo de pavimentos. Fotografías propias.

3.3.2 Análisis del Sitio

Tipo de suelo. El resultado de la prueba edafológica de campo sugiere que el caso de estudio consta de suelos franco arenosos con poca materia orgánica. Además, se observó que el suelo del fondo y taludes de la excavación que se destina para el humedal se encuentra con sedimentación heterogénea típica de una zona de disturbio. En la sección de mayor proximidad al pozo se encuentra suelo arenoso de grano grueso compacto de alta infiltración de agua y en su contraparte se tiene un suelo limoso arcilloso con buena retención de agua (Fotografía 6).

Dimensiones del cuerpo de agua destinado para el humedal artificial y noria anexa.

Los resultados obtenidos en campo se complementaron con el cálculo de las dimensiones de los dos cuerpos de agua por fotointerpretación y las herramientas de Google Earth Pro. Usando metodología similar se calculó la altura. Por los distintos márgenes de error en cada medición, tanto por los instrumentos como el del usuario, se calculó el promedio para tener un número aproximado representativo. El sitio para el humedal artificial es una excavación irregular donde sus cuatro caras laterales aproximan un prisma trapezoidal y el fondo y la orilla una forma rectangular. Todas las medidas se aproximaron a la figura geométrica más representativa (

Tabla 5).

La altura se midió de dos formas, usando la pendiente más baja de 3.048 m y usando el teorema de Pitágoras y por medio de medición directa en campo con cinta métrica y herramientas de fotointerpretación de Google Earth. En ambos cálculos se obtuvo una altura de 2.2 m para el sitio del humedal artificial y 5.25 m para la noria (

Tabla 6).

Tabla 5. Resultados de la medición de campo y por fotointerpretación usando herramientas de Google Earth Pro.

	GPS		GOOGLE EARTH PRO		PROMEDIO	
CUERPO DE AGUA	Perímetro (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Área (m ²)
HA (orilla)	75.7	296	75.8	335	75.75	315.5
HA (fondo)	54.8	129	57.8	174	56.3	151.5

Tabla 6. Resultados de la medición de altura de los cuerpos de agua usando instrumentos de campo y por fotointerpretación en Google Earth.

	Cinta métrica	GOOGLE EARTH	PROMEDIO
CUERPO DE AGUA	Altura (m)	Altura (m)	Altura (m)
HA a	2.69	2.75	
HA b	1.8	1.79	
HA c	1.76	2	
Altura promedio HA	2.15	2.18	2.165 = 2.2

Altura promedio NORIA	5.5	5	5.25
-----------------------	-----	---	------

El volumen de la excavación del sitio de estudio (Tabla 7) y noria (Tabla 8) se realizó aproximando la forma de los cuerpos a un prisma trapezoidal donde la suma de las áreas superficiales de cada cara es directamente proporcional a la altura.

Tabla 7. Cálculo del volumen de la excavación destinada para el humedal artificial.

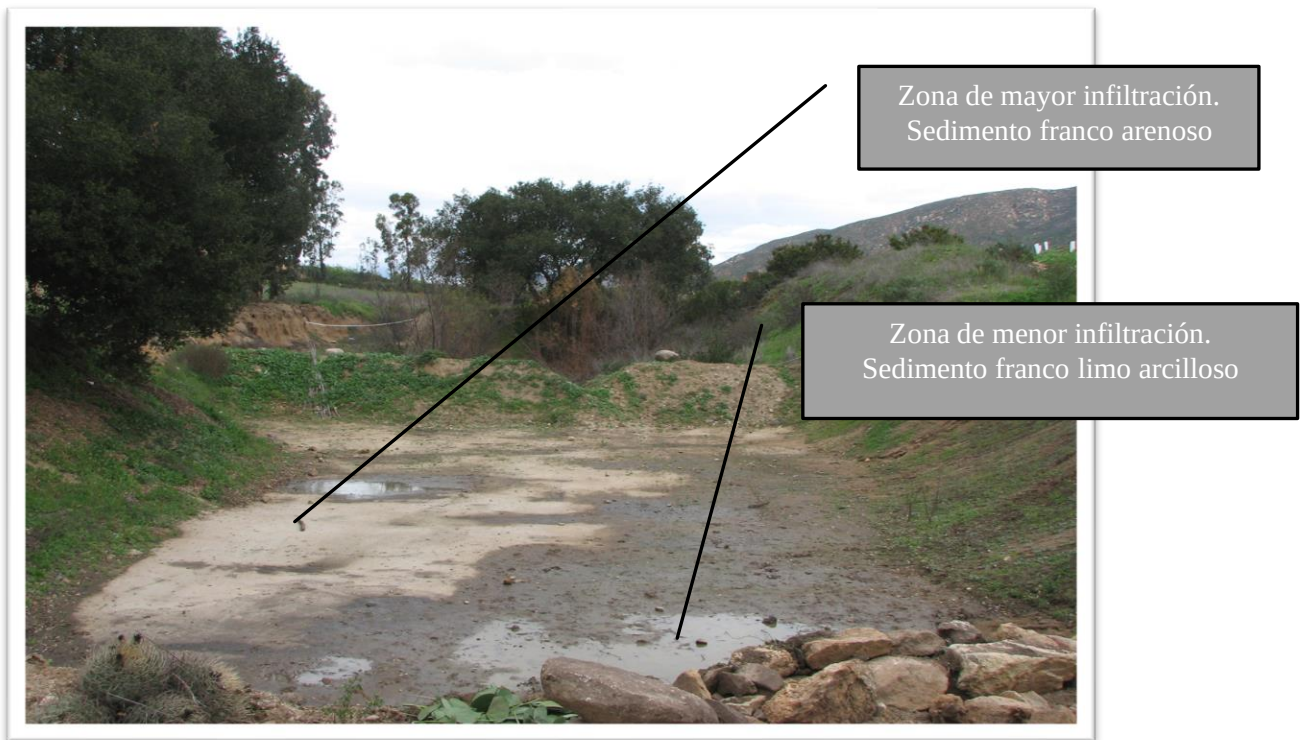
CARA	PENDIENTE (m)	PARÁMETRO
Caras a lo largo	4.8	$48.675 * 2 = 97.35$
Caras a lo ancho	3.88	$29.095 * 2 = 64$
Área Fondo HA		151.5
Área Orilla HA		315.5
Σ Área de las caras (m ²)		628.35
Volumen HA m ³		1,382.37

Tabla 8. Cálculo del volumen de la noria usando herramientas de Google Earth Pro para determinar las dimensiones del fondo de la noria y GPS para las dimensiones de la orilla.

CARA	PARÁMETRO
Largo orilla (m)	17.4
Largo fondo (m)	10.8
Ancho orilla (m)	5.9
Ancho fondo (m)	4.59
Altura (m)	5.25
Área laterales largos m ²	$74.025 * 2 = 148.05$
Área laterales anchos m ²	$27.536 * 2 = 55.072$
Área orilla m ²	102.66
Área fondo m ²	49.572
Σ Áreas de las caras (m ²)	355.354
Volumen m ³	1,865.60

Infiltración del agua al subsuelo. Aplicando la metodología de campo descrita en la Figura 14, se observó la presencia de suelos con alta infiltración. Por lo tanto, se requiere poner una capa gruesa de arcilla y compactar para minimizar el poro y prolongar el tiempo de infiltración para obtener los resultados de calidad de agua esperados y mantener el humedal con vida y funcionando todo el año.

En el año 2019, ocurrieron lluvias abundantes que comenzaron a principios del mes de febrero (Fotografía 6). A principios del mes de marzo, se reportó que en el rancho Santa Lucía había resultado el desbordamiento del agua en el sitio del humedal artificial por un extremo próximo al restaurante (Fotografía 7). El sitio se visitó a finales del mes de abril y se encontró con presencia mínima de agua.



Fotografía 6. tomada al comienzo de la temporada de lluvias del año 2019, denotando la zona con mayor infiltración por tipo de suelo en mayor proximidad al pozo. Fotografía propia.



Fotografía 7. Sitio para el humedal dos semanas después del haber finalizado la temporada de lluvias del 2019. Fotografía propia.

Por medio de las observaciones de campo, se registra un tiempo de llenado por precipitación de aproximadamente un mes. Al aplicar este dato a la metodología de campo descrita anteriormente (Figura 14) junto con los datos de volumen para el sitio para el humedal (Tabla 7) y noria (Tabla 8), se estimó un volumen perdido por infiltración de $2.85 \text{ m}^3/\text{h}$ (7.91×10^{-4}

m³/s) a una velocidad de 1.26×10^{-6} m/s; indicando que la totalidad del agua pasará al subsuelo en 20 días aproximadamente.

Estos resultados coinciden con las propiedades de los suelos francos arenosos que encontramos en el caso de estudio. Para mantener un humedal en una zona de escaso recurso hídrico, se necesita alargar el tiempo de infiltración del agua lo más posible. Por lo tanto, se sugieren un recubrimiento de arcilla en taludes y piso de 30 cm para mantener una columna de agua y de 10 cm en las zonas en donde se ocupe una infiltración lenta al subsuelo (Pavlis, 2017). Para mantener la columna de agua se puede aplicar la geo-membrana de PVC. Pero, cabe destacar, que por la actividad sísmica de la región, las altas temperaturas en verano y la presencia de fauna que realiza madrigueras en el suelo, es muy probable que la geo-membrana falle (Anaya Garduño, 2011) y comience a infiltrar agua al subsuelo sin pasarla por las capas sedimentarias que, a su vez, podría comprometer la calidad de agua de todo el sistema.

Utilizando datos promedio de precipitación anual de la zona y el área total del sitio (Tabla 7 y 8), se determinó el área de captación de lluvia según (Anaya Garduño, 2011) que establece que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado se obtendrá un litro de agua. Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica Olivares Mexicanos situada en el poblado del El Porvenir (Tabla 9). Estos datos alimentan la base de datos climatológica nacional de datos climáticos diarios del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) disponible en la plataforma CLICOM del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Tabla 9. Precipitación pluvial en el período 2007 - 2012 y promedio anual, para la estación meteorológica Olivares Mexicanos, ubicada en el Valle de Guadalupe del estado de Baja California, México, con localización geográfica; Latitud 32.049 N; Longitud 116.67 O; obtenidos de datos climáticos diarios de SMN disponibles en CLICOM-CICESE. Datos posteriores al 2012 no son disponibles.

Fecha	$\bar{P}$ acumulada anual (mm)
2007	182.5
2008	231.6
2009	130
2010	412.5
2011	351.5
2012	201.5
Precipitación media anual	251.6

Para este caso de estudio, la precipitación neta (mm), se obtiene al multiplicar el coeficiente de escurrimiento (C), por el coeficiente de captación con el 85% de eficiencia (0.85). El coeficiente de escurrimiento se puede obtener por tablas, por comparación con otras cuencas o por cálculo

directo (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011). En este caso particular, se estimó el coeficiente de escurrimiento por cálculo directo utilizando el Método del Número de Curva por las diferentes características encontradas en el sitio. Además, este método nos proporciona con mayor información sobre el comportamiento de las escorrentías en el sitio de interés por medio de dos hipótesis:

- 1) Existe proporcionalidad entre la lluvia retenida real en el terreno con respecto a la máxima capacidad que el terreno puede retener (valor potencial) y la Escorrentía Superficial o lluvia neta con respecto a la máxima que se puede producir, que sería la propia precipitación total en el supuesto caso de que toda la lluvia pase a formar parte de la Escorrentía Superficial.
- 2) El umbral de escorrentía (P_o) se ha evaluado como un 20% del total de la abstracción potencial. El umbral de escorrentía engloba, en consecuencia, el agua interceptada, detenida superficialmente e infiltrada.

$$P_o = \frac{508}{N} - 5.08 \quad (1)$$

En este caso de estudio, se encuentran dos tipos de suelo y dos tipos de vegetación, como se muestran en la siguiente tabla (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de suelo y vegetación.

Suelo tipo A	20%
Suelo tipo B	80%
Cultivo en pendiente con contorno en pendiente >1%	30%
Pastizal en pendiente >1%	70%

Aplicando el Método del Número de Curva, se obtiene el valor medio ponderado de $N = 76.92$ para el caso de estudio, utilizando los datos de la Tabla 10 y datos tabulares de Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer (2011).

Tomando en cuenta, que el caso de estudio se encuentra en una zona semiárida donde los eventos de lluvia son esporádico, dichos eventos en 5 días contiguos no sobrepasan 2.5 cm

acumulados y el suelo tiene alta probabilidad de encontrarse seco, al dato de N se le aplica la corrección tipo A obteniendo N corregida = 59.304.

Utilizando la ecuación 1, obtenemos un umbral de escorrentía $P_o = 3.486$ cm o 34.86 mm. Esto implica que se ocupa un evento de precipitación mayor a 34.86 mm para que se forme una escorrentía superficial.

La cantidad de lluvia caída (P_n) en la temporada de lluvias (Noviembre-Abril) la cual sobrepasó el umbral de precipitación para el período 2007-2012 se calcula utilizando la ecuación

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad (2)$$

los coeficiente de escorrentía para los aguaceros dados en este período se calcularon con la ecuación

$$C = \frac{P_n}{P} \quad (3)$$

y con el resultado de la ecuación 3, se calcula, con la ecuación 4, la precipitación estimada con un 85 % de eficiencia según (Anaya Garduño, 2011). Los resultados se resumen en la siguiente Tabla 11.

$$PN = P * \eta \quad (4)$$

Donde η es la eficiencia de captación del agua de lluvia y se obtiene de multiplicar el coeficiente de escurrimiento por el coeficiente de captación 0.85.

El promedio de la precipitación neta anual en 6 años cuya precipitación media sobrepasa el umbral de escurrimiento es de 67.59 mm.

Tabla 11 Precipitación media mensual, para la estación metereológica Olivares Mexicanos, ubicada en el Valle de Guadalupe, Baja California México; Latitud: 32.0491666667N y Longitud: 116.677777778 W y un período de observación de 6 años (2007-2012) en la temporada de lluvias invernales.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Noviembre	Diciembre	Anual
P (mm)	61.35	76.83	21.08	21.08	51.30	13.20	251.60
P_n (mm)							120.13
PN (mm)	24.90	31.18	8.56	8.56	20.82	5.36	102.11
PN, donde $P > P_o$ (mm)	24.9	31.18			20.82		76.90
$C = P_n / P$							0.48
η (mm)							0.406
P_{max} (mm)	236	113.00	63.00	60.50	95.50	42.50	412.50

Tabla 12. Área de captación de agua de lluvia usando el promedio anual de precipitación acumulada en 6 años equivalente a 251.6 mm para el valle de Guadalupe donde cada mm de precipitación te da 1 l de agua en 1 m² (Anaya Garduño, 2011).

CUERPO DE AGUA	ÁREA (m ²)	VOLUMEN AGUA DE LLUVIA CON RESPECTO AL ÁREA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y LA PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO (m ³)
SITIO HA	315.5	79.38
NORIA	102.66	25.81

Utilizando la precipitación anual promedio de seis años consecutivos en los últimos 20 años para el Valle de Guadalupe se calculó el volumen de agua de lluvia con respecto al área de captación de agua de lluvia en metros cúbicos del sitio para el humedal y la noria anexa (Tabla 12). Se encontró que solo un 11.43% de la capacidad total de la excavación se llenaría por precipitación que cae directamente sobre la superficie en un año promedio. En un año de lluvia abundante donde se puede alcanzar hasta 400 mm, como ocurrió en el 2010, estaríamos considerando que captará entre 15 a 20% de su capacidad total. Por lo tanto, el resto de agua captada por el sitio es por escurrimientos de pendientes próximas al mismo.

En la Tabla 13, se clasifican los flujos por su capacidad de conducción de agua superficial al sitio. Los flujos muy bajos, bajos y medios, son aquellos con menor capacidad de conducción de agua al sitio de estudio. Estos flujos no aportarían agua superficial de forma directa en el humedal y noria por la tasa de infiltración alta que tienen los suelos. Por lo tanto, el aporte hídrico influiría de forma indirecta al aportar agua de forma subterránea.

Tabla 13. Cuantificación de áreas de captación generadas en IDRISI Selva utilizando las herramientas LECOS disponibles en QGIS y el promedio anual de precipitación con relación a las áreas de cobertura de suelo con mayor capacidad para conducir agua de lluvia en pendientes (Anaya Garduño, 2011).

Tipo de flujo	Clase	Área de cobertura de suelo por el tipo de flujo (m ²)	No. de Parches	Área del Parche más grande (m ²)	Volumen captado de agua de lluvia en pendientes (m ³)	Volumen captado de agua de lluvia en parches (m ³)	Volumen captado de agua de lluvia en parches y pendientes al 20% de tolerancia
Muy bajo	1	1375	14	475	345.95	119.51	93.09
Bajo	2	1675	17	725	421.43	182.41	120.77
Medio	3	8275	21	2,600	2,081.99	654.16	547.23
Alto	4	17975	5	17,525	4,522.51	4,409.29	1,786.36
Total		29300	57	21,325	7,371.88	5,365.37	2,547.45

Los flujos altos son aquellos con mayor capacidad de aportar agua superficial al sitio de estudio (Figura 29 y Tabla 13). No se pueden descartar los flujos de menor capacidad aunque no aporten una cantidad significativa de agua a los sitios de interés. Por lo tanto, de estos flujos se decidió manejar un 20% de tolerancia en la estimación de la capacidad de captación de agua superficial. Este porcentaje de tolerancia se maneja infiriendo que al menos un 20% de estos volúmenes influyen contribuyendo agua superficial por escurrimientos en parches y pendientes. En la Figura 29, se observa que el parche más grande de flujo alto es la pendiente de mayor proximidad al sitio de estudio, el cual contribuye de forma directa y se tomará como el área eficiente de captación (Aec) para determinar el volumen de agua que puede ser capturado en esta superficie y definir si tiene la capacidad para cubrir la demanda del sitio.

El 20% de tolerancia de la contribución de agua, tanto de parches como pendientes, es aproximada al volumen requerido para llenar de agua la excavación destinada para el humedal. Por lo tanto, si se modifica la topografía circundante del sitio, en donde favorezca o disminuya el aporte y capacidad de agua del humedal, se debe incluir en su diseño una estrategia de desagüe y recirculación de efluentes para poder concentrar y depurar eficientemente el agua del humedal. Se encontró que para el Aec de 21,325 m² el volumen de agua que puede captar con un 20% de tolerancia es de 2,547.45 m³. En el caso de no poder disponer del agua subterránea de la noria, entonces se recomienda la instalación de geomembrana plástica para mantener el agua capturada a demanda y esta funcione como cisterna. Si se trata con arcilla, tanto el fondo como las taludes, es posible de tener pérdida por infiltración, a largo plazo.

La demanda anual (Da) y mensual (Dm) del sistema se obtiene con las siguientes ecuaciones 5 y 6 respectivamente según Anaya Garduño, (2011). Donde la precipitación neta media mensual es estimada para los meses donde la precipitación acumulada media mensual sobrepasó el umbral de escurrimiento durante la temporada de lluvias en el período 2007-2012.

$$Da = Aec \left(\sum_{j=1}^n PN_j \right) \quad (5)$$

$$Dm = \frac{\text{Volumen de la noria}}{\text{No. Meses de sequía} + 2} \quad (6)$$

La Demanda anual = 195.90 m³/año

La Demanda mensual (sequía) = 233.2 m³/mes

La demanda mensual del sistema rebasa la anual, por lo tanto, se deberá subsanar con agua adicional a lo largo del año para poder cumplir con la demanda mensual, en el caso de que el humedal necesitara trabajar a máxima capacidad que puede suministrar la noria y para mantener la noria abastecida de agua, sobre todo si esta agua no se podrá extraer del subsuelo de la noria.

Delimitación de la zona de captación hídrica del caso de estudio

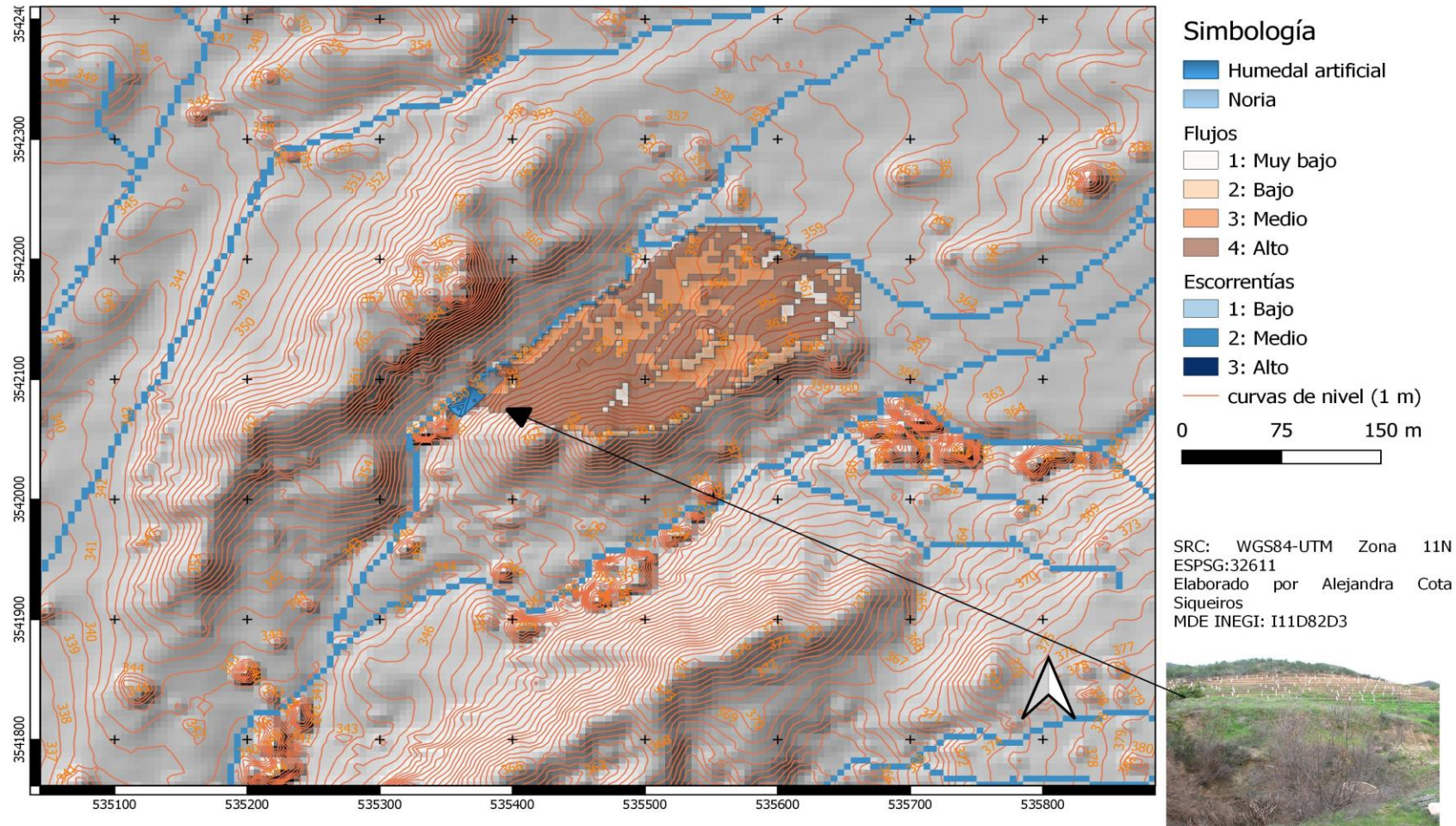


Figura 29. Delimitación de la zona de captación hídrica con mayor aportación de agua de lluvia por escurrimientos en pendientes e infiltración al subsuelo. Fotografía propia.

La demanda de agua del humedal se basa en la cantidad de plantas que se establezcan y particularidades de las mismas plantas que varían entre especies, tamaño, salud general, factores físicos de los suelos (infiltración, evaporación, tipo de suelo) y factores físicos del ambiente como la temperatura y la exposición solar.

El agua disponible en un suelo franco a capacidad de campo, el porcentaje de humedad que es retenido en condiciones de completa humedad después de haber drenado libremente es de 280 L/m³ (Fundación para el conocimiento MADRIMASD, 2006). Tomando en cuenta que solo los 0.3 m de la superficie conforman el top soil de suelo franco y excluyendo los laterales con pendiente que serán rellenados con grava, se obtiene un área de 152 m² (equivalente al área del fondo del humedal) a una altura de 0.3 m (altura de la capa de top soil), se necesitan 45.6 m³ de agua para que esta se retenga en el sustrato.

Si la velocidad de infiltración es de 1.26×10^{-06} m/s, entonces el volumen de agua pasará a la siguiente capa de sustrato arenoso en aproximadamente 16 horas. Al aplicar la siguiente dosis esta capa de suelo retendrá agua en un 28% de su volumen. Si este suelo no se deja secar, en el riego diario, la cantidad de agua necesaria para mantener la humedad deberá ser menor, ya que en cada capa se retendrá agua hasta llegar a la capa arcillosa. En esta capa arcillosa, el agua infiltrada se depositará ascendiendo progresivamente a través del sustrato hasta alcanzar su capacidad de campo de 400 m³/L, punto que gradualmente dejará pasar el agua almacenada al subsuelo.

Lo cual implicaría que el sistema llegue a un punto de anegación o encharcamiento en aproximadamente 26 días, si el abastecimiento de agua es continuo, en la misma cantidad para saturar el suelo franco y bajo condiciones de evaporación nula. Cabe destacar, que estos cálculos son aproximaciones y no toman en cuenta la variabilidad de factores ambientales que pueden afectar la demanda del sistema. Aunque, durante el año se llegue al punto de anegación, no es necesario llegar a ese punto durante la época de sequía. Tomando en cuenta, que una capa 10 cm permite la infiltración de agua aletargada, es recomendado el suministro continuo de agua por un tiempo hasta ver señales de saturación y se descansa sin suministro de agua un período equivalente, según el comportamiento del sustrato. Con el fin de oxigenar el sustrato arenoso dejando bajar el nivel del agua $\frac{3}{4}$ partes de la capacidad total antes de volver a administrar agua de forma continua. Lo ideal para mantener la salud del humedal es siempre mantener el suelo húmedo independientemente si este tenga o no columna de agua.

Consecuentemente, el agua almacenada en la noria, por estar a un nivel menor al del humedal, deberán ser bombeada al humedal para abastecerlo de agua a lo largo del año. Para extraer el

agua almacenada, se necesita estimar la potencia hidráulica de la bomba para administrar agua al humedal según el tipo de riego (tubería, surcos y corrugaciones o ambas), conocer y cuantificar los siguientes términos hidráulicos, que deberán ser rectificadas y ajustadas por medio de levantamiento de datos propios de la noria y el humedal.

Espejo de agua: Superficie en reposo del agua dentro del captador de agua, pozo, cisterna o noria.

Nivel estático (B): Profundidad en metros (m) a la que se ve el espejo de agua en estado estacionario (cuando no hay extracción de agua). $B = 1.0$ m observación aproximada en campo después de temporada de lluvias.

Nivel Dinámico (ND): Profundidad en metros (m) a la que se ve el espejo de agua en el proceso de bombeo. Es la distancia desde el fondo al espejo durante la extracción. $ND = 5$ m, en el caso donde la noria se mantenga llena de agua sin extraer agua subterránea (donde el suministro de aguas es obtenido por agua tratada o pipa). El dato de agua subterránea no se tiene, debe obtenerse tras un sondeo y levantamiento de datos de la noria.

Nivel de Descarga (A): Altura a la que hay que llevar el agua. En este caso de estudio, de la noria al humedal $A = 1.5$ m (medición aproximada de la superficie de la noria al nivel de la calle donde se encuentra la bomba del pozo en el extremo opuesto del humedal próximo al restaurante).

Profundidad de abatimiento (C): Diferencia entre el nivel estático y el dinámico. $C = 4$ m aproximadamente.

Carga estática: Distancia en metros a la que hay que llevar el agua desde el nivel estático hasta el nivel de descarga $(A+B)+C = 2.5 + 4 = 6.5$ m.

Altura de fricción: Distancia en metros adicional que hay que agregar debido a la fuerza de fricción que oponen las paredes de la tubería, conexiones y válvulas para el flujo de agua. A mayor distancia de recorrido por la tubería mayor será la resistencia que la bomba tenga que vencer. Además, los codos ofrecen una mayor resistencia que las tuberías rectas. Como una buena aproximación se utiliza que, por cada codo de 90° opone la misma resistencia que 3 m de tubería recta y por cada codo de 45° equivale a la mitad de esta longitud (Lesur, 2017); Tabla 14.

Carga Dinámica de fricción (CF): Carga adicional que aparece cuando el agua se desplaza dentro de la tubería, en toda su longitud, a un gasto dado.

Caudal de diseño: Caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 L/s (CEPIS, O, 2005).

Carga Dinámica total (CDT): Carga hidráulica en el proceso de bombeo (A+B+CF).

Tabla 14. Estimación de la longitud de la tubería que conectará la noria al humedal, considerando tubería de PVC rígido (tramo de 3 m de longitud) 2” (Anaya Garduño, 2011).

PROPUESTA	Longitud de tubería (m)	No. de codos de 45°	No. de codos de 90°	No. de unión T estándar	No. de conectores simples	CE =(A+B)+C (m)	Longitud adicional por codos	Longitud total de recorrido (m)	Pérdida por fricción (m/100m)
1	40.5	2	0	0	2	6.5	2.75	43.25	3.8
2	48.5	2	2	6	24	6.5	21.09	69.59	3.8
3	35	2	1	4	14	6.5	14.06	49.09	3.8

Área superficial de la unidad (As): Área superficial en la zona de sedimentación. Aplicable solo para la propuesta 3 = 114 m²

Velocidad de sedimentación (Vs) para propuesta 3 = 20.3 m²/s, obtenidos de la extrapolación de datos después de usar la metodología de sedimentación para determinar el tipo de suelo del sitio.

Potencia hidráulica (PH), es la fuerza que debe tener la bomba para realizar dicho trabajo en watts, y está dada por la expresión:

$PH = 9.8 \times Q \times CDT$, donde Q es el gasto o caudal en m³/s, 9.8 es la aceleración de la gravedad (m/s²) y CDT es la carga dinámica total. La potencia hidráulica también se puede determinar calculando la masa de agua (Kg) que se necesita desplazar de un lugar a otro a una altura determinada (m) por la aceleración de la gravedad, donde 1 HP (caballos de fuerza) =746 watts.

Si el caudal de diseño es de 3 L/s entonces encontramos un PH = 0.27 HP lo cual indica que una bomba de ½ HP trabajaría forzado, por lo tanto se recomienda una bomba de 1 HP.

El proceso de extracción se puede realizar con varios tipos de bomba, pero, ya que el agua captada en la noria es agua turbia o sucia, se recomienda utilizar una bomba sumergible para agua sucia o lodos. Hay diferentes modelos de estas bombas, algunas tienen la capacidad de tener conectores de salida de diferentes medidas para ajustarse a diferentes diámetros de tubo.

Para este caso de estudio, se tomó como ejemplo la bomba sumergible para lodos EVANS con descarga de 2” modelo SV2ME100F con las siguientes especificaciones, según catálogo (EVANS, 2021):

PH = 1 HP

Voltaje =110V

Flujo máximo = 330 L/min = 5.5 L/s

Presión 13 m

Punto de mayor eficiencia = 210 L/min a 6 m =3.5 L/s a 6 m

Paso de sólidos de 1 ½ pulgada

Si la razón de bombeo es de 3.5 L/s, la bomba operará en un tiempo de 3.6 horas, redondeado a 4 horas para facilitar el riego. Este suministro de agua se puede repartir en dos sesiones de 2 horas, una por la mañana y una por la tarde. Este bombeo intermitente permite mantener oxigenado el sustrato, evitar acumulación de materia orgánica y la evaporación de agua superficial; evitando el riego en horas de mayor intensidad solar.

Al inicio de la temporada de lluvias se determinó el pH, por medio de potenciómetro digital de campo, del agua contenida en la excavación. Se encontró un valor pH de 7.6 al inicio de la temporada de lluvias y 8.2 al final de la temporada. Consecuentemente, se realizó una prueba cualitativa para identificar la presencia de fosfatos, la cual resultó positiva. La presencia de fosfatos en cuerpos de agua dulce no es común. Generalmente, se asocian a la introducción de agua gris que contiene detergentes comúnmente usados para lavar ropa y trastes o escurrimientos de agua con fertilizante químico proveniente de cultivos próximos (Lembi, 2003). En este caso de estudio, el incremento significativo del pH se le atribuye al vertimiento de agua gris proveniente del lavabo de la cocina del restaurante Ariete. Esta agua gris contiene detergente que al degradarse aumenta la concentración de fosfatos en el agua resultando en el incremento de pH en el sistema.

3.3.3 Diagrama de relaciones: Propuestas de diseño

El tipo de humedal se decide siguiendo los criterios de selección de acuerdo al diagrama de flujo ilustrado en la figura 11, dando como resultado un humedal subsuperficial. Para determinar el flujo del sistema se aplican los criterios expuestos en la tabla 4, dando como resultado un humedal subsuperficial de flujo vertical con la flexibilidad de tener u omitir elementos híbridos.

Una vez definido el tipo de humedal que se requiere construir se prosigue a su diseño. Primeramente, se define el concepto de diseño del humedal determinado por la lista de necesidades de los propietarios, los atributos de paisaje y los elementos que definen Clòs de Tres Cantos.

Analizando las palabras que constituyen el nombre de la vinícola “Clòs de Tres Cantos”, encontramos las palabras castellanas *clòs* que significa encierro y cantos que puede tener varios significados como:

- Arte y técnica de producir sonidos melódicos por la boca o garganta
- Partes de un poema épico
- Poema corto
- Bordes, esquinas o remates
- Trozos de roca

Por medio del significado de las palabras que constituyen el nombre de la vinícola y su representación gráfica o logo, se define Clòs de Tres Cantos como un encierro de tres esquinas, cercos, paredes o ejes, sin especificar qué es lo que está dentro del encierro. Por ser una vinícola se infiere que el encierro contiene a la vid.

La empresa Clòs de Tres Cantos tiene como misión “*Crear experiencias que nos acerquen a la naturaleza y la visión de desarrollar un proyecto sustentable donde el viñedo produzca uvas de la más alta calidad, la bodega monasterio ensamble los aromas y sabores de forma que el vino sirva de motor para que se compartan conocimientos, se vivan experiencias, se descubran emociones, y por medio de la Asociación Civil Ethos y Logos se deje un legado a las futuras generaciones*” (Senties, 2014) (Fotografía 8).



Fotografía 8. Visión y Misión de la vitivinícola Clòs de Tres Cantos. Fotografía propia.

Utilizando la misión de la empresa, a los tres cantos se les asigna la connotación de los tres ejes del desarrollo sostenible:

- 1) Conciencia ambiental y respeto al medio ambiente (Ecológico)
- 2) Elaboración de un producto de alta calidad (Económico)
- 3) Intercambio de saberes ofreciendo un punto de reunión para la conexión social, promoción cultural, la innovación y la divulgación de conocimiento (Social)

Por lo tanto, el concepto de diseño tomará como base la representación gráfica de la empresa (logo) (Fotografía 9), los tres ejes del desarrollo sostenible y los posibles significados que ofrece el nombre de la empresa para ofrecer un concepto robusto y complejo semejantes a los vinos que producen.



Fotografía 9. Logo de la vitivinícola Clòs de Tres Cantos

Además, el concepto de diseño del humedal debe reflejar los diferentes elementos que constituyen la vinícola Clòs de Tres Cantos. Por lo tanto, se deben implementar los mismos materiales de construcción, vegetación y estilos arquitectónicos que se encuentran en el entorno, aunado a la filosofía que promueve la empresa (Figura 30).

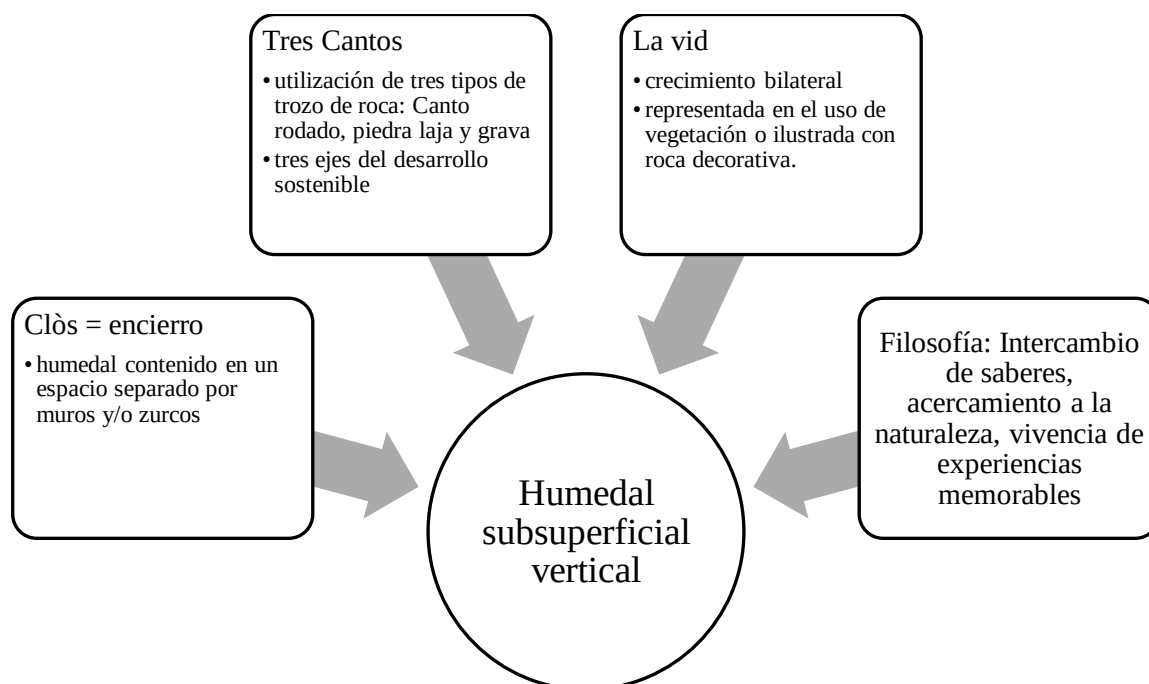


Figura 30. Elementos que deben relacionarse de manera armoniosa en el diseño del humedal.

Para tener una visión más tangible del sitio, se elaboró un bosquejo general del sitio de estudio (Figura 31). Donde se encuentran relaciones entre los diferentes elementos existentes en la propiedad. También permite ubicar las zonas de uso y los lugares donde se deben incorporar o modificar elementos como el fortalecimiento y elevación de muros, corrección de pendiente y profundidad en el suelo, ubicación de bombas, sistema de plomería y ubicación de vegetación.

Antes de considerar cualquier propuesta de diseño es imperativo que se realice un estudio de la noria para que ésta pueda estar en condiciones de trabajo. Este estudio incluye un levantamiento topográfico del sitio, sondeo y obtener los derechos de agua para su extracción. Además, el fondo y muros deberán ser tratado con arcillas y grava o combinar la arcilla con bentonita para aumentar el tiempo de retención de agua capturada en la temporada de lluvias, o en su defecto aplicar una geomembrana plástica. También se sugiere, regular pendientes para evitar erosión, construir un muro alrededor de la noria para evitar el acceso al público en general y andadores de terracería para el acceso seguro alrededor del sistema.

Próxima a la noria se identificó el árbol *Eucalyptus sp.* y dentro de la depresión a un lado de la segunda perforación se identificó el árbol *Tamarix sp.*; ambos con características potencialmente nocivas para el sistema del humedal. Aun siendo especies poco ideales, no se recomienda su remoción. La perturbación al ambiente y el costo del mismo sin garantía de una restauración exitosa sobrepasa el hecho de que estas sean especies exóticas, tengan requerimientos hídricos altos y potencial alelopático e invasivo (May & Ash, 1990; Anderson, 1995). En cambio, el enfoque deberá dirigirse a la promoción del crecimiento de vegetación nativa de matorral costero y chaparral en los alrededores y dentro del humedal.

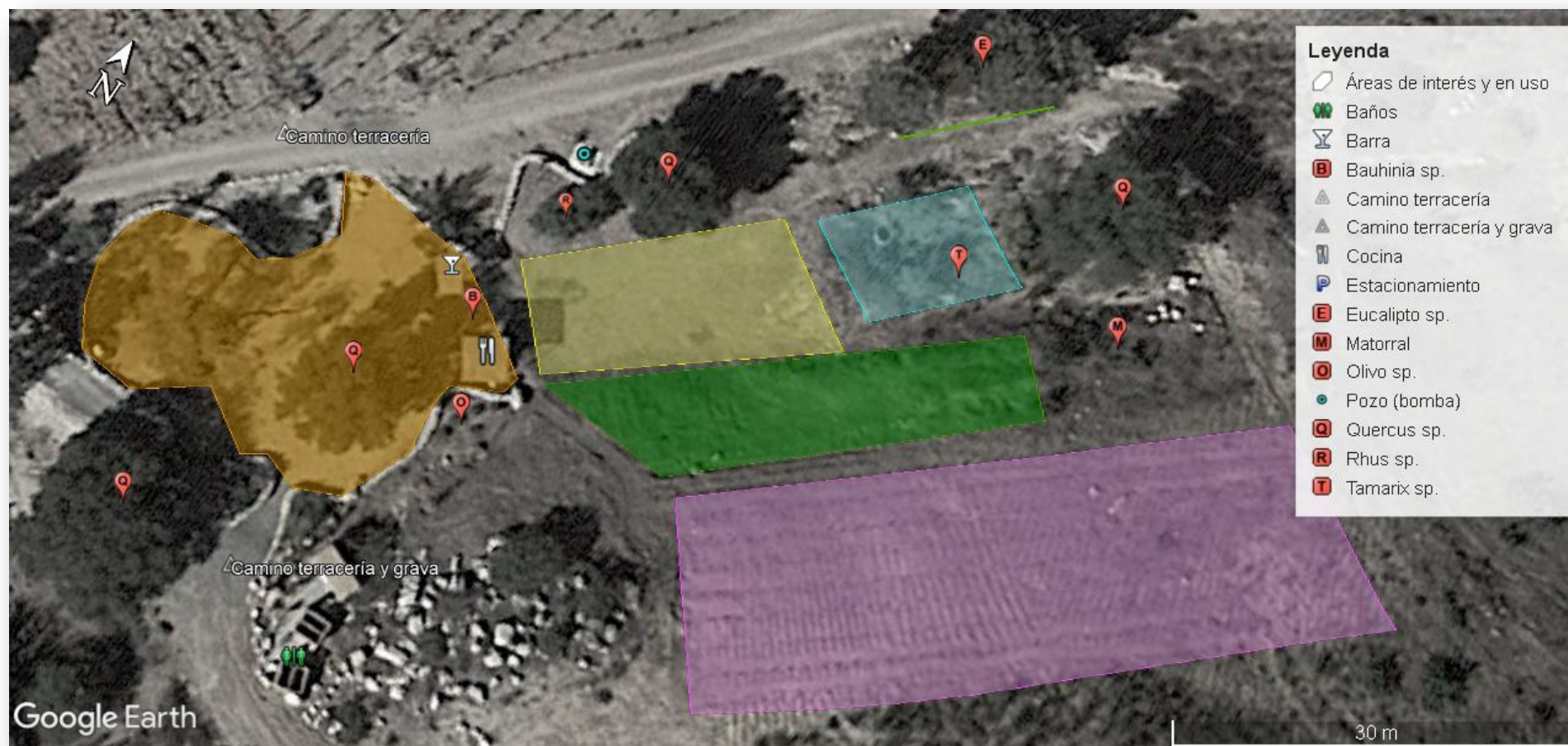


Figura 31. Zonificación general del sitio y ubicación de elementos de paisaje importantes en la adaptación del humedal artificial. Las áreas de interés se clasifican de la siguiente manera: anaranjado (restaurante), amarillo (sitio para el humedal artificial), azul (noria), verde (pendiente erosionada), morado (viñedo). Elaboración propia utilizando imágenes landsat de Google Earth.

Con base en la lista de necesidades de los propietarios, los resultados y observaciones del sitio se proponen tres diseños de humedal subsuperficial vertical. Las capas de sedimentos que conforman el sustrato filtrante de las tres propuestas de diseño se basan en los lineamientos expuestos por (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011; Price & Probert, 1997) (Figura 32). En la literatura, los lineamientos para el lecho filtrante sugieren arena y grava de dos tipos (gruesa y fina). Para la función de filtrado de agua de lluvia, gris y potencialmente agua tratada y tomando en cuenta el tamaño reducido del sistema, la arena fina no es requerida y de arena gruesa libre de limo se requieren por lo menos 60 cm (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011).

La principal función de la grava es dar soporte a la tubería de PVC que se utilizará para irrigar por debajo de la tierra de cultivo (top soil). Este tipo de irrigación es semejante a la irrigación por goteo, con la diferencia que, de esta forma, el agua no está expuesta al ambiente y por lo tanto no hay riesgo de pérdida de agua por evaporación (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011). Por lo tanto, se ocupa una grava gruesa para cimentar la tubería y lograr elementos estéticos superficiales y una de menor grosor para hacer la transición entre arcilla y arena, con el fin de que la tubería de desagüe no se tape con el sedimento del lecho filtrante.

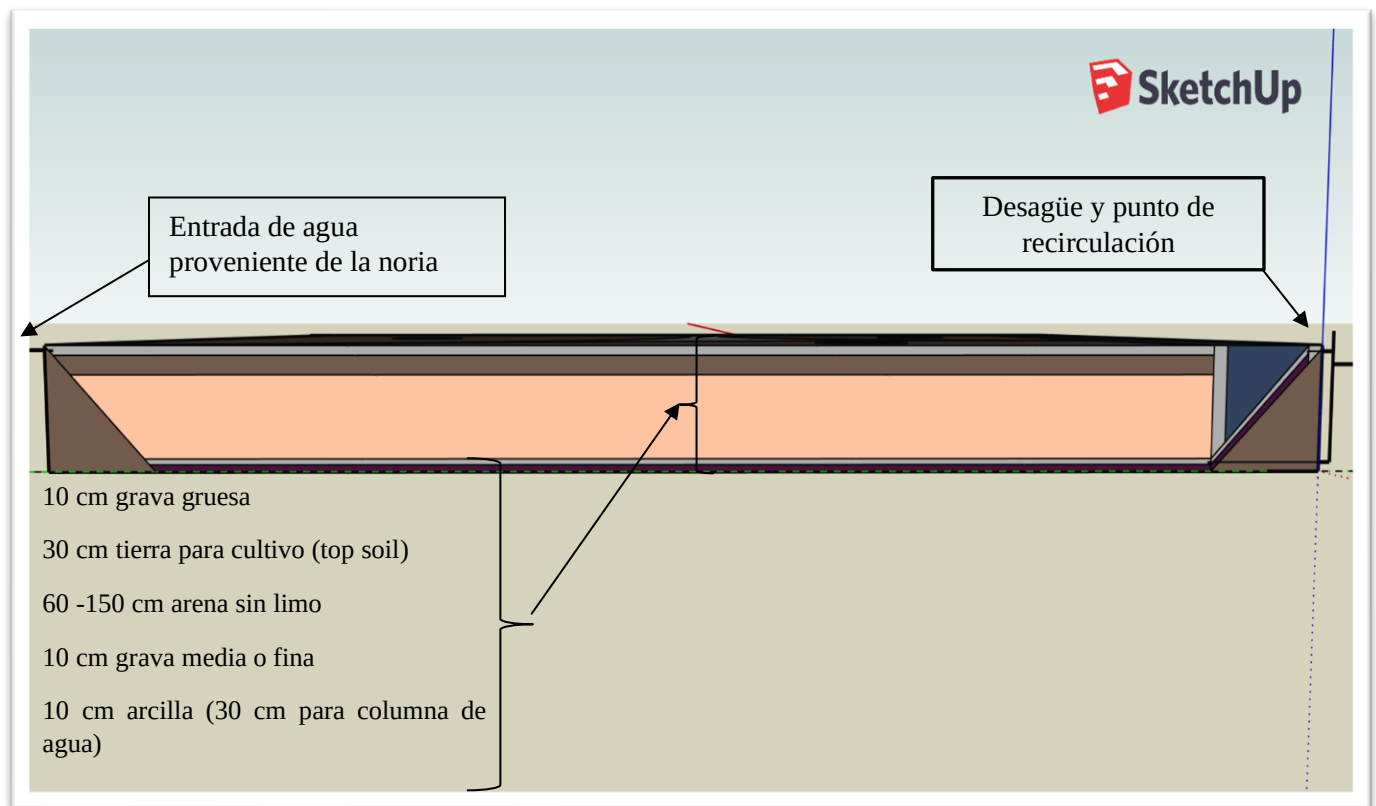


Figura 32. Vista de sección transversal propuesta de humedal subsuperficial de flujo vertical y lineamientos para las diferentes capas sedimentarias según Price & Probert, (1997).

3.3.4 Propuesta 1, Humedal Subsuperficial Híbrido Sin Acceso al Público en General

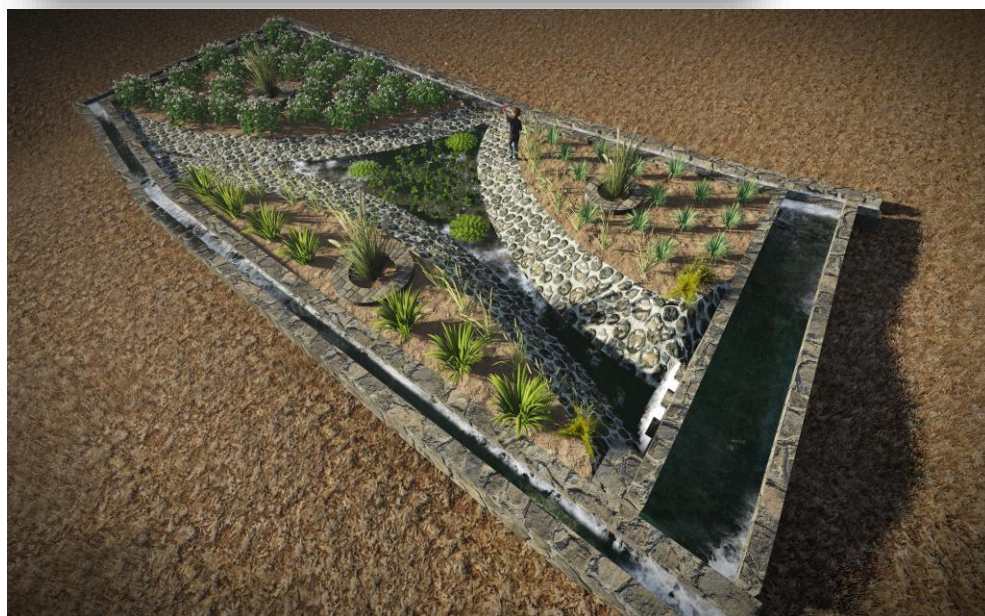
En este diseño, el sistema será irrigado por un surcos y/o corrugaciones, donde el agua entrante al sistema es bombeada de la noria anexa. Dentro del sistema, el agua se concentra en surcos (20 a 30 cm de profundidad) donde el agua fluye por gravedad de forma horizontal. Estos surcos alimentan la tubería subsuperficial o corrugaciones (15 cm de profundidad) que mantendrán hidratados los suelos del sistema (Berlijn & Brouwer, 2014). Para concentrar el efluente, el sitio del humedal deberá tener una profundidad mayor a la existente de aproximadamente 2 metros. Así, el efluente horizontal, proveniente de la noria, se concentra en surcos con grava que circulan por la parte central del humedal y hacia las orillas del humedal hasta completamente rodear todo el sistema. Posteriormente, el agua se infiltra lentamente de forma vertical al subsuelo. Por tener un flujo horizontal entrante y uno vertical al infiltrar en el subsuelo se le da al humedal la connotación híbrida.

Este diseño será sin acceso al público en general y solo se podrá caminar en los alrededores por medio de andadores de terracería para evitar daño a la tubería subsuperficial, surcos, corrugaciones, si estas se desean, y el crecimiento de la vegetación. Además, un sistema cerrado es más representativo del nombre de la empresa y logo.

En esta propuesta, los surcos, reflejan el diseño del logo de la empresa, pero en lugar de ejes rectos se sugieren ejes ligeramente curvos para reflejar la fluidez del agua dentro de la vid, que a su vez tiene un crecimiento irregular. Así, el agua que proviene de la noria entra por la base del diseño de la vid nutriendo al humedal y se dirige hacia los brazos y regresa hacia la tierra donde se infiltra de forma vertical al subsuelo. Los tres círculos en cada espacio entre ejes serán jardineras para plantas herbáceas de importancia gastronómica y/o medicinal. El diseño también cuenta con un tubo de desagüe en el caso de lluvias abundantes que excedan la capacidad del humedal (Figura 34). Además, se incorpora un muro de roca sin junta, como se maneja en el resto de la propiedad, para evitar el acceso al público en general y evitar posible inundación del restaurante. Para el caso de lluvias abundantes, donde el agua cubra la totalidad de la superficie del humedal, el diseño de surcos se irá descubriendo al grado que vaya bajando el nivel del agua por el efecto de la infiltración. Este efecto será apreciado desde la altura de la vinícola y podrá ser manejado como un elemento atractivo del humedal (Figura 33).



Boceto original



Render con vista aérea en ángulo.



Render con perspectiva nivel de piso.

Figura 33. Modelos tridimensionales de la primera propuesta de diseño de humedal subsuperficial híbrido, cerrado (sin acceso) al público en general, elaborados por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base en boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.

3.3.5 Propuesta 2: Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical con Acceso al Público en General

En la Figura 35, se observa un diseño de humedal subsuperficial vertical donde se maneja una columna de agua superficial como elemento estético. El concepto se trabaja con tres diferentes cortes de roca o canto (laja, rodado y grava) ubicados y trabajados para reflejar el logo en forma de andadores y muros. En este diseño, en lugar de tres ejes que se encuentran en un punto central, se sugiere un andador con forma de la vid en crecimiento bilateral, encerrado. Los elementos de flora se zonifican para que representen el paisaje, los pámpanos de la vid y su ciclo ampelográfico. Al igual que en la primera propuesta, los tres círculos entre ejes serán jardineras para plantas herbáceas de valor gastronómico y/o medicinal.

En este diseño el agua se introduce al sistema por bombeo desde la noria anexa y se distribuye por tubo de PVC perforado en las tres secciones que contendrá la vegetación. Por la apertura de este diseño, en temporada de lluvias, el agua en exceso se dirige a un tubo de desagüe (Figura 34), la cual podrá ser recirculada a la noria, colectada o descartada según las necesidades de la propiedad. Por lo tanto, el manejo del nivel del agua en exceso será importante para evitar inundaciones indeseadas, ya que esta agua no podrá ser retenida en el humedal.

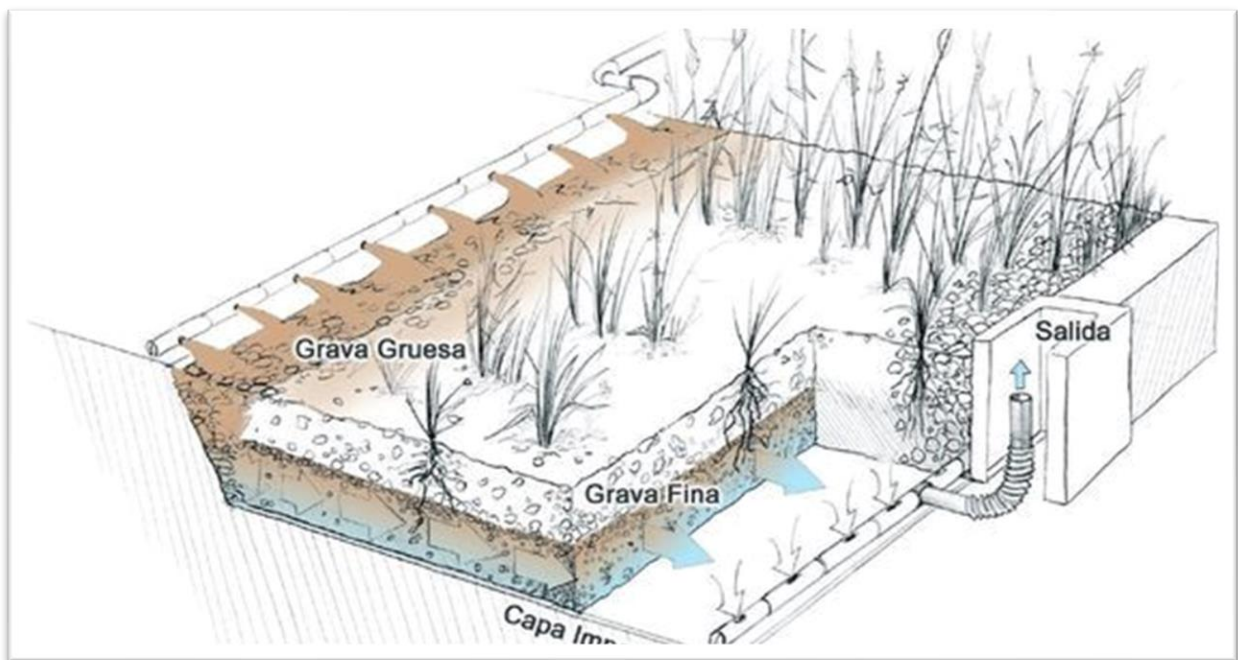
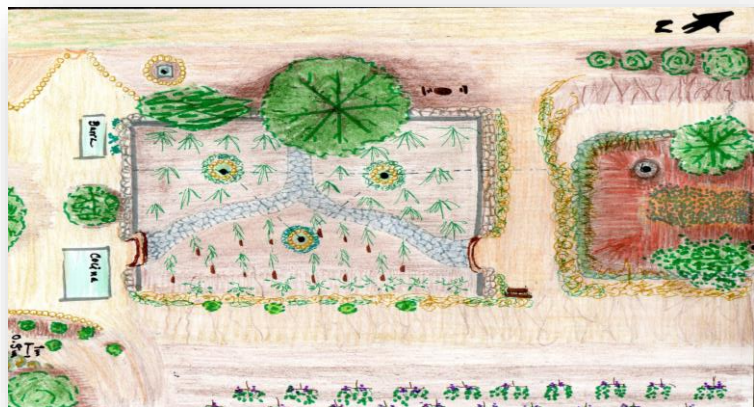


Figura 34. Esquema de humedal subsuperficial donde se muestra la sección de desagüe para la propuesta 1 y 2. Tomado de depuranatura.blogspot.mx



Boceto original



Render con vista aérea en ángulo.



Render con perspectiva nivel de piso.

Figura 35. Modelo tridimensional de la segunda propuesta de diseño de humedal subsuperficial vertical con acceso al público en general elaborado por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base en boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.

3.3.6 Propuesta 3. Humedal Subsuperficial de Flujo Híbrido con Columna de Agua.

En esta propuesta de diseño, las capas sedimentarias se mantienen con los mismos lineamientos de las propuestas 1 y 2 (Figura 32). La diferencia primordial se enfoca en la sección que contendrá la columna de agua. Por tener este elemento, se propone un sistema sin acceso al público en general, para evitar accidentes y daños a la red de distribución hídrica.

El fondo de la columna de agua deberá incorporar una capa de arcilla de 30 cm de grosor. Esta capa fungirá como aislante en lugar de utilizar geomembrana plástica. Para impedir deslave de material del lecho filtrante, se sugiere un terracedo con muros de roca con o sin junta de arcilla. El terracedo puede ser sustituido por un muro de roca sujetado con alambre comúnmente utilizados para los muros de contención. Los cuales pueden o no incluir terracedo (Figura 36).

Para esta propuesta se necesitarán incluir varios tipos de vegetación acuática para lograr un balance en el sistema, en particular especies flotantes. Este tipo de vegetación, además de permitir un manejo de nutrientes, ofrecen cobertura superficial impidiendo la evaporación del agua. Además, se deberán incorporar en los alrededores del sistema más elementos arbóreos nativos (ej. *Rhus* sp.) o mediterráneo (ej. *Olea* sp.) para promover la sombra y evitar evaporación del agua en los meses cálidos de verano (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Ejemplo de terracedo con muro de roca.
Tomado de casaydiseno.com

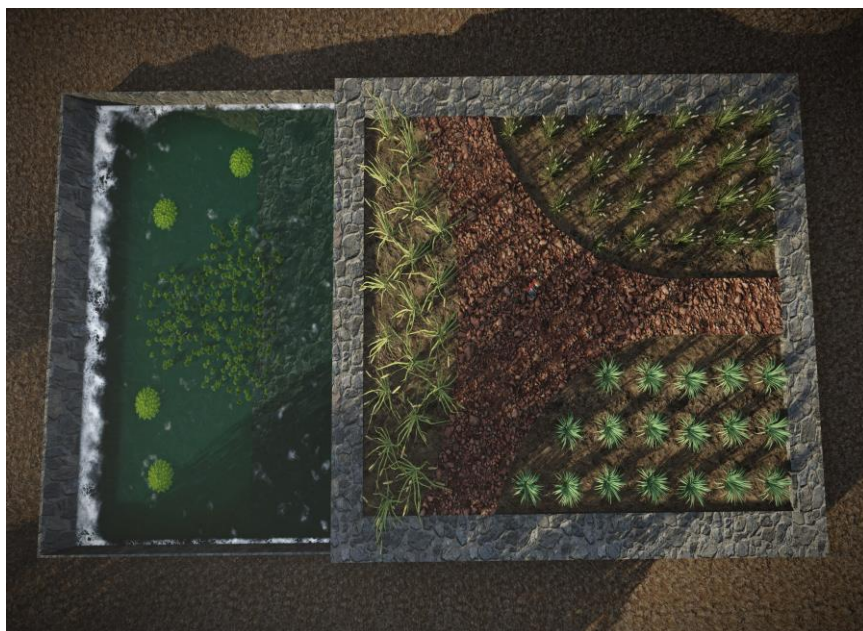


Ejemplo de muro de contención sin junta
sujetado con alambre.

Figura 36. Ejemplos sugeridos de muros para la construcción de la propuesta 3.



Boceto original



Render con vista área.



Render con perspectiva en diagonal

Figura 37. Modelos tridimensionales de la tercera propuesta de diseño, humedal subsuperficial vertical con columna de agua elaborado por Arq. Iván Guerra y Kevin Orozco con base a boceto propio elaborado con lápiz y plumón acuarela.

4 PROPUESTA DE MANEJO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

Por manejo se refiere al conjunto de acciones y estrategias adaptativas de tipo social, económico y ambiental organizadas de manera integrada que logre un objetivo deseado en un tiempo definido, tales como preservar, conservar, aprovechar y/o explotar en un sistema social-ecológico. Por lo tanto, en esta sección se describirán las diferentes estrategias y acciones que se deberán realizar para la construcción, adaptación del sitio y manutención del humedal para alcanzar balance entre los diversos elementos (sociales y ecológicos) que conforman este sistema.

Los resultados del análisis hidrológico y de terreno indican que el sitio seleccionado para el humedal es adecuado para su construcción. Ya que este sitio ofrece una zona de captación hídrica natural por escurrimiento en temporada de lluvia, hay exposición adecuada de luz solar (al menos 5 a 6 horas diarias en todo el año) y espacios de terreno para incorporar vegetación que provean sombra en secciones del humedal para evitar pérdida de agua por evaporación. De acuerdo con las características del entorno se determinó que el humedal subsuperficial vertical, con o sin elementos híbridos, ofrece mayor compatibilidad con menor demanda de recursos que uno superficial vertical. Además, integrando conceptos de arquitectura del paisaje, ingeniería y limnología, el diseño estético ofrece una herramienta sostenible de conservación y depuración hídrica para el viñedo y sus usuarios.

4.1 CONSTRUCCIÓN

Como se comentó anteriormente, en principio, se debe adecuar la noria para la extracción de agua subterránea. Para ello, se debe realizar un levantamiento topográfico y sondeos, además de incluir los permisos para la extracción de agua. En taludes y fondo, se deberán realizar las correcciones necesarias para aplicar el aislante con las especificaciones recomendadas para el humedal.

Una vez logrado esto, se procede a preparar el sitio destinado para el humedal según la propuesta de diseño seleccionada. Esta preparación incluye homogenizar pendientes laterales, fortalecer paredes, corregir profundidad y pendiente del fondo para un flujo óptimo del agua y remover y/o reubicar la vegetación existente dentro del sitio. Una vez libre de vegetación, se procede a colocar una capa homogénea de arcilla.

La aplicación de arcilla consiste en desprender un poco del sedimento del fondo (entre 5 y 10 cm) e incorporarlo con la arcilla, luego se procede a añadir la arcilla húmeda de forma similar

a la colocación de una losa (o piso) de concreto. Para este trabajo se debe consultar a un obrero con experiencia para trabajar este tipo de materiales. Si se decide por tener una columna de agua, entonces el sello es importante. La arcilla es un sedimento que reducirá la infiltración de agua al subsuelo y manteniendo la humedad del sistema de forma natural sin utilizar un aislante plástico.

Por lo tanto, el grosor y terminado de este material es importante, para evitar fisuras que promuevan la infiltración del agua al subsuelo. Para lograrlo, se debe colocar la arcilla con un grosor (o altura) de 30 cm, en lugar de 10 cm, en la zona que contendrá la columna de agua. Además, se debe incorporar un escalón o terracedo para prevenir el deslave de sedimento hacia la columna de agua (Figura 34). En la porción vertical del muro, a las rocas, ya sea de la zona o tipo laja, se aplica arcilla como junta, semejante al que se hace en muros de contención con cemento. De igual forma se recomienda incorporar tubos horizontales en los muros para alimentar la bio-piscina de agua filtrada. En la parte horizontal del terracedo se aplica sobre la arcilla una capa de arena y sobre ésta grava, para fijar los contenedores o canastas con la vegetación sumergida y en el caso de incorporarlas al suelo éstas se pueden anclar al suelo con el peso de la grava sobre la parte basal de la planta.

La estratificación de sedimentos para todas las propuestas se logra colocando una capa inicial de arcilla para disminuir y/o prevenir la infiltración al subsuelo. Estas arcillas se colocan húmedas para evitar grietas, de forma similar a como se vierte un piso de concreto. Sobre la arcilla se coloca una capa de grava fina que servirá como una fase intermedia procedida de una capa de grava gruesa con la finalidad de prevenir obstrucción de la tubería por sedimento fino entrante a la tubería de desagüe. Sobre esta capa de grava se colocará entre 60 y 100 cm de arena, la cual fungirá como el material filtrante del sistema y el sustrato de preferencia de la mayoría de las plantas acuáticas.

Entre la arena y el suelo se coloca la tubería para la irrigación subterránea y en la parte superior irá el suelo, tierra preparada o humus donde se colocará la vegetación emergente y sobre ésta puede o no colocarse piedra decorativa (Figura 30).

4.1.1 Costos

El costo de inversión del humedal depende principalmente del costo de los materiales base, tales como arena, grava, arcilla y vegetación. En el caso de la arena, esta debe ser libre de limo. Si no es posible adquirir una arena de este tipo, entonces la arena adquirida deberá ser lavada antes de ser colocada. Lo que producirá un trabajo intensivo y laborioso que tendrá mayor costo de mano de obra. Los sedimentos base, arena, arcilla, tierra preparada y grava son materiales

ampliamente usados en construcción y jardinería, por lo cual son accesibles. La disponibilidad puede ser un factor importante, ya que algunos de estos elementos ocupan maquinaria especializada para poder tenerla disponible en grandes cantidades. Para proyectos que requieren cantidades mayores al metro cúbico, los materiales se venden en volúmenes predeterminados de acuerdo a la capacidad que tiene el proveedor de transportar dichos materiales. La tierra preparada, dependiendo del proveedor se puede obtener de la misma forma o por costal con o sin flete.

La arcilla puede ser difícil de conseguir y por lo tanto el flete puede implicar costos extras. La grava, por ser un material utilizado ampliamente en construcción es fácilmente disponible, pero su costo es mayor, ya que, se vende por volumen predeterminado. Los excesos de grava pueden ser utilizados para otros aspectos de construcción y diseño.

La vegetación que se incorpore en el humedal deberá ser obtenida de proveedores confiables y después propagada en el humedal y/o invernadero para mantener costos bajos tanto de inversión como de mantenimiento. Los proveedores de mayor confiabilidad de plantas acuáticas nativas, terrestres y de transición o riparias se encuentran en Estados Unidos. En viveros de la ciudad de Ensenada y en el propio Valle de Guadalupe, se pueden encontrar algunas especies, pero no todos garantizan que estas se obtengan de manera responsable.

La Tabla 15, es un ejemplo del tipo de inversión que se deberá hacer tomando en cuenta el material necesario para su construcción. Esta tabla no considera, flete, mano de obra, ni maquinaria especializada como aplanadoras, retroexcavadoras, bailarinas, mezcladoras etc. Algunos tipos de maquinaria se encuentran en el rango de 1,000 a 5,000 pesos el día. En cuanto a la mano de obra, su determinación es variable. Generalmente, los trabajadores de construcción (obreros) cobran entre 1,500 y 2,000 pesos la jornada de trabajo. La mano de obra de ingenieros, arquitectos y otro tipo de personal especializado es por encima del obrero y su cuota se maneja con la constructora o por contrato personal.

Las observaciones principales de la relación de costos de la tabla 15 son:

- Entre mayor sea la cantidad de materiales, mayor será el costo.
- Entre más elaborado sea el diseño el costo de construcción y de mantenimiento será mayor.
- Entre más elementos vivos de distintos ambientes se incluyan en el humedal, el costo de mantenimiento será mayor a uno con menos elementos.

Por lo tanto, un diseño con mayor inversión de inicio puede ser más económico a largo plazo por manejar menos componentes. Un diseño con menor cantidad de materiales, no

necesariamente es el más económico a largo plazo, ya que será mayor el costo de construcción y mantenimiento de sus componentes. Consecuentemente, todas las propuestas son relativamente equivalentes y se debe tomar la decisión con base en la función que desempeñará en la propiedad, así como en la inversión de tiempo y dedicación que se le concederá al sistema.

Tabla 15. Comparación de costos de materiales necesarios para la ejecución de las propuestas de diseño sin considerar flete, mano de obra, contratistas y maquinaria. En el caso del transporte de tierra preparada, el precio del material y el precio del transporte puede ser negociado. El costo de transporte oscila entre 300 y 500 m.n. o lo considerado como costo de gasolina.

Material	Precio base (m. n.)	Propuesta 1: cantidad ocupada en m ³ o pieza	Costo Propuesta 1 (m. n.)	Propuesta 2: cantidad ocupada en m ³ o pieza	Costo Propuesta 2 (m. n.)	Propuesta 3: cantidad ocupada en m ³ o pieza	Costo Propuesta 3 (m.n.)
Arcilla 6 m ³	2,300	16	6,900	8	4,600	30	11,500
Grava fina 6 m ³	2,800	16	8,400	8	5,600	4	2,800
Arena 6 m ³	2,500	120	50,000	200	82,500	48	20,000
Tierra preparada 1 m ³	1,950	70	136,500	80	156,000	4	7,800
Grava gruesa 6 m ³	2,700	5	2,700	1	0	15	8,100
Tubería PVC 3m	84	33	2,772	33	2,772	17	1,428
Codo PVC	23.5	13	305.5	13	305.5	7	164.5
T PVC	25		0	2	50	2	50
Cople PVC	12.5	17	212.5	17	212.5	8	100
Piedra laja	30	0	0	150	4500	0	0
Piedra bola o canto rodado (cubeta 5 gal)	120	20	2,400	0	0	10	1,200
Piedra beige (cubeta 5 gal)	180	20	3,600	3	540	0	0
Junco (pampa) no nativo (planta con raíz)	600	20	12,000	15	9,000	5	3,000
Papiro egipcio (planta con raíz)	450	12	5,400	0	0	6	2,700
hierbabuena	20	9	180	9	180	0	0
<i>Typha sp.</i>	172	10	1,720	20	3,440	10	1,720
<i>Lemna sp.</i>	225.75	0	0	0	0	1	225.75
<i>Elodia sp.</i>	86	0	0	0	0	10	860
TOTAL			23,3090		26,9700		61,648.25

Por la dificultad y costo asociado en la obtención de plantas acuáticas, se recomienda invertir en un invernadero en la propiedad para el resguardo, mantenimiento y propagación de las plantas que poblarán el humedal. Este invernadero a largo plazo, podrá ser una fuente de ingreso al ser un proveedor confiable de plantas especializadas para poblar humedales en otros sitios. Además, será un apoyo para la comunidad como fuente de trabajo para personas locales del Valle de Guadalupe.

También es altamente recomendado tener un sitio en la propiedad para elaborar compostas con la materia orgánica generada por el humedal, vinícola y restaurante. La cual dará acceso a una fuente natural para la fertilización del humedal y jardinerías, eliminando la necesidad de comprar fertilizantes químicos, compostas, tierra preparada y suelos especiales a largo plazo.

Para reducir costos de construcción de manera significativa, se recomienda que no se compre tierra preparada para siembra y se utilicen los suelos resultantes de la construcción y/o reubicar tierra de otras partes de la propiedad y posteriormente fertilizarlos con compostas preparadas *in situ*.

4.2 BALANCE DEL SOCIO-ECOSISTEMA

Un ecosistema es definido como una comunidad biológica de organismos que interactúan entre ellos y el medio físico que los rodea (Townsend, 2000). Un humedal es un ecosistema ya que contiene un rango amplio de organismos que habitan en, alrededor de y fuera del agua (Pavlis, 2017). Para este caso de estudio, dentro del medio físico, además de incluir la biota y aspectos ecológicos, se deben incluir las actividades humanas que se desarrollan alrededor del humedal y las funciones que desempeñará el humedal para beneficio de sus usuarios. Por lo tanto, al tener este componente social se le denomina al humedal como un socio-ecosistema, cuyo componente deberá manejarse en conjunto con otros componentes para mantener un balance óptimo.

Un balance se obtiene cuando no hay cambios drásticos en el sistema. Es decir, si un organismo muere es reemplazado, además provee nutrientes para otros organismos. Los componentes químicos del agua y suelo se estabilizan para acomodar las especies con mayor adaptación. Así, la diversidad de especies se mantiene sin tener un organismo dominante. Para lograrlo, se debe tener un plan que balancee las actividades que influyen directamente e indirectamente en el sistema, para el mantenimiento tanto de los componentes inertes como de los organismos que viven dentro del sistema. Una vez logrado este balance, el manejador deben mantener el sistema en equilibrio para que el sistema sea sostenible a largo plazo. Por manejador se refiere a la

persona encargada de mantener y manejar el sistema, ya sea un experto contratado (manejador de recursos naturales) o una persona capacitada por un experto para realizar estas actividades.

4.2.1 Vegetación

La vegetación que crece dentro y alrededor del humedal es el principal componente vivo del humedal. Las plantas acuáticas emergentes y de transición son las especies que entran en este rubro. En este sitio solo debe crecer la vegetación seleccionada, cualquier hierba no deseada deberá ser deshierbada o trasplantada. Como se mencionó en la sección de costos, las plantas que se deseen plantar en este sitio deben ser obtenidas de proveedores confiables, para evitar especies invasivas o plantas erróneamente identificadas. Las plantas que tienden a ser muy competitivas o que requieren estar dentro de agua se mantienen en contenedores. El contenedor funcionará como un limitante de crecimiento de la planta. Cada vez que se cambie una planta de contenedor debe colocarse fertilizante en el fondo, sobre este un poco de tierra, luego la planta y completar el llenado del contenedor con tierra y composta. No es necesario obtener suelos altamente enriquecidos con humus o turba (Lembi, 2003).

Donde hay agua, hay algas. Generalmente, el principal problema en un cuerpo de agua dulce es el sobrecrecimiento de algas. Estas algas pueden ser microscópicas, no se ven a simple vista y solo se aprecian por la tinción café-verdosa del agua. Aquellas que si se ven a simple vista se denominan algas macroscópicas y generalmente son de aspecto filamentosas. Tener algas en un humedal es normal, tener muchas algas es un problema. Un problema de algas está asociado generalmente con humedales que tienen una columna de agua, sostienen peces y otros organismos acuáticos. Las algas como todas las plantas son organismos que además de realizar la fotosíntesis durante el día, también respiran tanto de día como de noche. Por lo tanto, una gran cantidad de estos organismos pueden volver un cuerpo de agua anóxico matando durante la noche todo lo que habita en el mismo (Lembi, 2003). Además, los problemas de algas son poco estéticos y mal olientes. Para este caso de estudio, los problemas de algas serán mínimos, pero no desapercibidos (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011). Por lo tanto, es importante saber que estos organismos existen, son importantes y pueden ser manejados.

Los árboles y arbustos que se encuentran en los alrededores del humedal también son importantes. La función más importante de estas plantas es proveer sombra. La sombra reduce la temperatura ambiental, resguardan el habitat de vientos fuertes, evita la evapotranspiración excesiva en plantas, promueve la retención hídrica en suelos y evita la proliferación excesiva de algas (Lembi, 2003). Los problemas en humedales son a causa de árboles y arbustos caducifolios. Las hojas que caen, ya sea en agua o suelo, pueden alterar las condiciones de

crecimiento de algunas plantas (Pavlis, 2017). Por esta razón, es importante no plantar especies con efectos alelopáticos como el eucalipto dentro o alrededor del humedal. En el caso de tener un cuerpo de agua con columna de agua, como sería el caso de la noria en temporada de lluvia, es importante evitar que la columna de agua no reciba una gran cantidad de hojas. Las hojas al descomponerse aportan nutrientes que promueven la eutrofización. Además, la mayoría de las plantas nativas de esta región son altamente flamables, ya que el fuego es un elemento importante en el ciclo de vida de las plantas. Es importante manejar la vegetación para evitar incendios extensos en la propiedad (Miller, 2008).

4.2.2 Nutrientes

El término nutriente se define como una sustancia, elemento o compuesto, que promueve el crecimiento y la salud de las plantas (Pavlis, 2017). Los principales nutrientes de interés para mantener la salud del humedal son los mismos que se encuentran en los fertilizantes comerciales; Nitrógeno (N_2), Potasio (K), Fósforo (P) y elementos traza. Generalmente, estos nutrientes son obtenidos sin problema del medio ambiente, ya sea por los procesos de descomposición y la extracción de minerales de las rocas y el suelo. La introducción de concentraciones grandes de estos nutrientes altera bruscamente un sistema; ya sea por escurrimientos agrícolas o aguas grises. Los fertilizantes utilizados en plantas de cultivo tienen una proporción de nutrientes cargada hacia los compuestos nitrogenados. Estos compuestos promueven el crecimiento de las plantas. Si este compuesto entra al sistema de forma abundante todas las plantas incluyendo las algas crecen de forma excesiva desbalanceando el sistema (Lembi, 2003).

El potasio es un componente que se aplica en cultivos para promover el desarrollo de frutos y flores. Este nutriente no es tan problemático, ya que las concentraciones que se utilizan no son tan grandes como las de nitrógeno y fósforo (Pavlis, 2017).

El fósforo es un nutriente que también promociona el crecimiento, especialmente en algas. El fósforo lo encontramos como una sal denominada fosfato; un compuesto derivado de la descomposición de diversos detergentes para el lavado de traste o ropa y es usualmente encontrado en las aguas grises. Una gran cantidad de este compuesto altera la química del agua y del suelo ocasionando una reducción en la biodiversidad (Lembi, 2003). Por lo tanto, un buen manejo de nutrientes equivale a un sistema balanceado sin recurrir al uso de herbicidas.

4.2.3 Fauna Silvestre

Un humedal es un sitio atractivo para la fauna silvestre y después de su implementación se observará un incremento en el avistamiento de diferentes animales como aves, reptiles, anfibios e insectos. Estos animales pueden ser residentes permanentes o temporales. Sea cual sea el caso, es importante comprender que el incremento de algunos organismos serán el alimento de otros y eventualmente estos encontrarán un balance una vez establecido el humedal (Pavlis, 2017). Por lo tanto, no se deben introducir pesticidas o venenos para la remoción de organismos. En el caso de que alguna especie este exhibiendo comportamiento invasivo entonces se deberá consultar expertos para el correcto manejo de la especie. En este caso de estudio, se observó la presencia de la rana toro, una especie altamente invasiva. Si esta se observa dominando el ecosistema se deberá consultar a expertos para su manejo correcto y eficaz. Pero, por el tipo de humedal, no se espera que haya un problema con esta especie.

Si debe usarse algún tipo de plaguicida, este deberá seguir los lineamientos sugeridos en el Plan de ordenamiento ecológico del corredor Valle de Guadalupe- San Antonio de las Minas (Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006). Para este caso de estudio, no se espera una gran proliferación de insectos, ni anfibios, si se opta por el diseño de humedal subsuperficial sin columna de agua permanente (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011). Si se opta por un diseño con columna de agua se debe incorporar una bomba (preferentemente solar) para inyectar oxígeno en la columna de agua y perturbe la superficie para evitar el establecimiento y proliferación de insectos (Lembi, 1997).

4.2.4 Microbios

Por microbios se refiere a microorganismos presentes en agua y suelo como bacterias, hongos, animales y plantas unicelulares y multicelulares. Generalmente estos microorganismos se hacen presentes en mucosidades sobre suelo y rocas. Por su aspecto, se tienden a eliminar. Sin embargo, estas mucosidades que, en realidad son comunidades de microorganismos descomponedores, realizan la conversión de amonio, producto de la descomposición de la materia orgánica, en compuestos nitrogenados que son alimento vital para las plantas (Pavlis, 2017).

Un crecimiento desenfrenado de microorganismos, al igual que las algas, producen un desequilibrio en el ecosistema que resulta en la acumulación de materia orgánica y malos olores, una situación común en humedales con columna de agua, estanques y pantanos. Para evitar este

problema, solo se debe mantener una vegetación emergente saludable y oxigenar sitios donde el agua tiende acumularse por períodos prolongados, como en las norias (Lembi, 1997).

4.2.5 Actividades Antrópicas

La alteración del ambiente natural, aunque sea para el desarrollo de otro ambiente natural, generalmente viene asociado con actividades de índole social y económico que también entran dentro del ecosistema y es por eso que se denomina al sistema como un socio-ecosistema. En este caso de estudio se encuentran varias actividades antrópicas que deben ser consideradas en el manejo del sistema. Estas son:

- Actividades gastronómicas (Restaurante campestre)
- Elaboración de productos enológicos
- Viticultura
- Turismo
- Eventos culturales y sociales.

Estas actividades influyen de manera tanto directa como indirecta en el sistema por la proximidad en que se desarrollan alrededor y dentro del sistema; impactando tanto de forma positiva como negativa.

La ventaja de este tipo de sistemas es que centran el manejo minimizando el impacto negativo que provocan problemas. Estos impactos negativos asociados a actividades antrópicas recaen en el manejo de residuos (orgánicos e inorgánicos), flujos entrantes y salientes de agua, manejo de vegetación y mantenimiento de plomería y bombas.

Manteniendo el sistema en un funcionamiento óptimo, contrarrestando y previendo problemas potenciales, el sistema podrá otorgar los siguientes beneficios que enriquecerán las diferentes actividades que se realizan en el predio. Los beneficios más destacados son:

- La conservación del agua.
- Promoción de buenas prácticas de manejo del agua.
- Educación ambiental.
- Promoción de ecoturismo.

4.2.5.1 Conservación del agua

El Valle de Guadalupe se encuentra en una zona semiárida, por lo tanto las lluvias y los cuerpos de agua superficial son escasos y el acuífero que abastece la zona se encuentra sobre explotado. Por esta razón, se desarrolló el Programa de ordenamiento ecológico para el corredor de San Antonio de la Minas – Valle de Guadalupe (Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006). En el cual se estipulan restricciones para el acceso y uso de este recurso. Por lo tanto, cualquier cuerpo de agua que se construya deberá seguir los lineamientos de diseño ecológico. Este diseño sugiere que se trabaje con los elementos de paisaje existentes para minimizar el impacto ambiental, no generar desperdicios, ni utilizar recursos de forma desmedida en particular de aquellos que se encuentran limitados.

Aunque un humedal, por su connotación lingüística podría denotar algo totalmente adverso para este ambiente, si se construye en un lugar favorable para la colección de agua de lluvia y de agua residual, este sitio será una herramienta para depurar y conservar agua tanto superficial como subterránea. Además, si se llega a distribuir en esta zona agua tratada, el humedal es un excelente lugar para recibir esta agua y depurarla antes de que esta llegue al pozo, minimizando el impacto al manto freático.

4.2.5.2 Promoción de Buenas Prácticas de Manejo del Agua

El correcto funcionamiento de un captador de agua y un filtro biológico traducido en un humedal que recircula el agua minimizando el desperdicio es el fundamento de una buena práctica de conservación y uso del agua. Este sistema servirá como ejemplo a seguir para otros propietarios que deseen recibir los mismos valores ambientales, independientemente si tengan o no ideales ambientalistas. Aunque un humedal es una de un listado de buenas prácticas a seguir para el manejo del agua, la integración de varias prácticas hará la diferencia para resolver el problema de escasez de agua en el Valle de Guadalupe.

4.2.5.3 Educación Ambiental

Un humedal con acceso al público, ofrece una herramienta didáctica donde se fomenta el respeto, apreciación, aprendizaje y entendimiento sobre el medio ambiente por medio de la observación en vivo y retroalimentación de estudios escolares y libros de texto. Puede ser el tema de conversación para el turista ocasional, la catedra interactiva con alumnado de todos los niveles (*in situ* y de forma virtual), tema de investigación científica o de innovación tecnológica o un ejemplo para romper paradigmas y prejuicios en percepción del paisaje, tales como la percepción de la vegetación de chaparral como matas antiestéticas e inservibles y el cómo se

puede tener un humedal en un lugar donde no hay agua que además sirva para algo más que un elemento estético.

4.2.5.4 Promoción de Ecoturismo

El humedal artificial ofrece una experiencia de vida y acercamiento con la naturaleza y, cuando sea construido, promoverá dicho acercamiento por medio del arte y la ciencia. Utilizando elementos de arquitectura del paisaje se logra tener un elemento artístico en armonía con los demás elementos que componen la propiedad. Haciendo de este en conjunto y por si solo una composición artística en la que se inmersa uno y se aprecia a distancia. Además, proporciona un fondo para la captura de recuerdos memorables y el sitio para efectuar toda clase de eventos sociales.

Al seleccionar y mantener plantas nativas y de valor dentro del humedal, se tendrá una fuente de materia prima para desarrollar diferentes prácticas artesanales. Esto ayudará a promocionar actividades culturales y formar vínculos con artesanos de diferentes grupos sociales. Por ejemplo, el junco puede ser utilizado por los grupos indígenas de la zona para elaborar canastas y otros objetos decorativos. Las algas filamentosas, al igual que otras plantas fibrosas como el papiro, pueden ser procesados para hacer papel decorativo para pintura en acuarela, acrílicos y pasteles. Se pueden incorporar plantas con valor gastronómico y/o alimenticio para los platillos y maridajes con el vino elaborado en la propiedad. Los aceites de deshecho de la cocina pueden ser procesados en jabones artesanales. El crecimiento de plantas medicinales, hierbas aromáticas, nativas y ornamentales ofrecen una fuente confiable de estas plantas para el público en general para uso decorativo en sus hogares y/o empresas y pueden promover el ecoturismo con la publicación de un catálogo de vegetación exclusiva para el valle de Guadalupe.

4.3 MANTENIMIENTO

Al igual que cualquier jardín, el humedal tendrá una rutina de actividades para mantener todos los elementos descritos en la sección anterior en balance. El indicador primordial de salud del humedal es la vegetación. Mientras la vegetación se encuentre sana y creciendo, el ecosistema estará en balance. De lo contrario, se prosigue a realizar estudios y observaciones de los problemas empezando por un perfil básico de química del agua incluyente de pH, alcalinidad, salinidad, nitratos, nitritos y fosfatos. El manejo de la vegetación y el buen funcionamiento del sistema de distribución hídrica es clave en el buen manejo del sistema.

4.3.1 Calidad de agua

En este caso de estudio, el agua que entra al sistema es agua de lluvia, de pozo y agua gris proveniente del desagüe del lavabo del restaurante. Por ser agua con relativamente pocos contaminantes, no es necesario un análisis periódico (cada 3 meses) de química del agua. Por observaciones y muestreo, se determinó que el agua gris proveniente del restaurante tiene principalmente residuos de detergente y aceites insaturados en cantidades poco visibles en la superficie del agua. El detergente utilizado, es de tipo biodegradable que al descomponerse libera compuestos de fosfato que eleva el pH del agua. Por lo tanto, se debe promover el crecimiento de plantas que prefieren ambientes alcalinos como el tule y se recomienda utilizar un detergente libre de fosfatos para lavar la loza para evitar desequilibrios en el sistema que promuevan problemas de eutrofización. Un perfil del agua entrante y de pozo es recomendado cada año para determinar si el humedal está funcionando de manera óptima como un biofiltro del agua colectada. Por óptimo, se refiere a el incremento significativo de la calidad de agua a corto plazo y la manutención de la calidad de agua a largo plazo.

Nota: Una vez que se empieza a corregir la química del agua con químicos, difícilmente se encontrará un balance natural y se ingresa a un ciclo de medir y ajustar. Es preferible encontrar una solución que no implique añadir sustancias químicas. Los ajustes de química del agua son recomendados para problemas extremos donde la fuente del problema ya se identificó y ya se solucionó. De lo contrario, el contaminante que desequilibra el sistema siempre estará presente y el ajuste es temporal y el problema perdura. La desventaja de encontrar equilibrio de forma natural es que puede ser frustrante para que el sistema sea estético y muestre resultados positivos a corto plazo.

En el momento que se decida incorporar agua de otra fuente, como agua tratada, entonces se recomienda que se haga un perfil químico del agua que entra al sistema y del agua del pozo antes de recibir el agua tratada y después periódicamente para tener un panorama general del comportamiento del sistema para poder prevenir problemas y poder atenderlos de manera oportuna cuando se manifiesten.

Los perfiles de química del agua pueden ser cuantitativos o cualitativos. Para este caso de estudio, no es necesario un perfil cuantitativo de laboratorio especializado. Se recomienda un perfil cualitativo básico de química del agua. Estos perfiles son económicos (alrededor de 30 dólares), se adquieren en internet (amazon.com) o proveedores locales (Quimical) y pueden ser efectuados por cualquier persona con una capacitación mínima. También, se puede invertir en algunos instrumentos digitales como potenciómetro de campo para medir pH en agua y suelo,

humedad del suelo y cantidad lumínica. Estos equipos son económicos y fáciles de usar y dan un buen panorama general del sistema.

Otro indicador importante de la calidad de agua es la presencia de algas en agua. Poca alga presente (<30% de cobertura superficial) es indicativa de un buen balance. Muchas algas presentes (>60% de la cobertura superficial) es un problema. Si este llegara a ser un problema en temporada de lluvias, las algas deben ser eliminadas manualmente sin utilizarse herbicidas, porque al igual que los ajustes de química, dañan el humedal. Lo menos deseado es un contaminante más en el sistema, entre menos se impacte el ambiente mayor facilidad tendrá el sistema en adaptarse.

Hay que tomar en cuenta que la presencia de algunos organismos y microorganismos es normal, pero si son muy abundantes es por alguna razón dentro de su funcionamiento ecológico. Primero hay que determinar la fuente del problema, para tener una solución y no el tratamiento de un síntoma de un problema crónico. Generalmente, los problemas de eutrofización son debido a nutrientes excesivos en el agua y son comunes en humedales con columna de agua o que reciben agua residual agrícola cargada de fertilizantes químicos. Una prueba de nitratos, nitritos, fosfatos y fosfitos es recomendada para saber cuál o cuáles son los nutrientes que se encuentran en exceso.

Las plantas acuáticas no requieren de muchos nutrientes, por lo tanto, no es necesario abonar periódicamente en lapsos cortos. En el caso de tener una columna de agua se recomienda poner plantas que tenga raíces expuestas o sumergidas en el agua como plantas acuáticas flotantes (ej. Lenteja de agua). Estas plantas son muy competitivas por los nutrientes limitando naturalmente el crecimiento de las algas.

4.3.2 Vegetación

La vegetación del humedal se divide en tres tipos: emergentes, sumergidas y flotantes. Estas plantas desarrollan los siguientes objetivos importantes en el sistema (Pavlis, 2017):

- Hacen que el sistema se vea estético y natural.
- Reducen los niveles excesivos de nutrientes y contaminantes en el agua.
- Incrementan los niveles de oxígeno en el ambiente (aire y agua).
- Proveen hábitat permanente y temporal a fauna silvestre.
- Proveen sombra que evita la evaporación del agua capturada en el sistema.

El objetivo con mayor prioridad es el segundo, ya que es la función primordial del sistema y se encontrará que las fuentes de nutrientes son numerosas y podrían ser de origen natural y de actividades antrópicas. Estos nutrientes potenciales son la hojarasca, excreciones de fauna silvestre, insectos y aquellos nutrientes y contaminantes que ya trae el agua entrante al sistema como detergente, aceites insaturados, metales pesados, basura, residuos orgánicos, fertilizantes químicos etc. La remoción de nutrientes debe realizarse con frecuencia y puede intensificarse en ciertas temporadas. Por ende, las actividades se clasifican por su periodicidad en actividades rutinarias y de temporada.

Las actividades rutinarias son aquellas actividades cuya frecuencia mantienen la salud y la estética del sistema, identifican problemas potenciales y evitan descontrol. Estas actividades incluyen el monitoreo de la vegetación y los componentes (naturales y artificiales) del ambiente. Las actividades de temporada son aquellas que se relacionan con las estaciones del tiempo y el ciclo fenológico de las plantas, como la poda, siembra, propagación vegetativa, recolección de semilla y fruto, fertilización y trasplante (Tabla 16). En esta tabla, además se observa que, el cuidado y manutención de las plantas emergentes es similar al cuidado de un jardín convencional y, las acuáticas sumergidas y flotantes, a las de un acuario, por lo que es posible encontrar este tipo de vegetación, sustratos y equipo se encuentran en tiendas especializadas.

No se recomienda obtener una cobertura de vegetación total de suelo tanto fuera como dentro del agua, ya que se incrementan la incidencia de plagas y enfermedades. Es recomendable empezar con pocas plantas e incrementar el número gradualmente hasta conseguir el paisaje diseñado que mantenga el balance de todos sus componentes. Si se desea anclar una planta acuática en el suelo del humedal la planta se ancla por si sola colocando suficiente grava en su base para que esta no flote.

Las plantas sumergidas y flotantes no deben ser fertilizadas. No es recomendado aplicar fertilizante líquido en agua o suelos fertilizados para macetas. Aunque estas plantas son altamente competitivas por los nutrientes disueltos en el agua, aplicar fertilizantes ocasionará un problema de eutrofización en el sistema. Composta o abono se puede incluir en el fondo de la canasta con poco suelo, relleno con arena y grava en su superficie para proveer un sustrato apropiado para las plantas sumergidas. El único fertilizante comercial apropiado para contenedores es el granulado que se empuja en el suelo en la base del contenedor (Lembi, 2003).

La poda de vegetación en humedales puede ser un tema de discusión por si solo y depende mucho del clima en el que está situado el humedal. Esta propuesta está situada en un ambiente

Tabla 16. Actividades enfocadas en los tres tipos de vegetación que deben de desempeñarse para la manutención del humedal (Lembi, 2003).

Tipo de Vegetación	Actividades rutinarias	Actividades de temporada			
		Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Emergente	-Deshierbar. -Promover el crecimiento de plantas nativas que entren al sistema de forma natural. -Revisión de contenido de humedad en suelo para riego óptimo. -Monitoreo de indicadores para verificar la inexistencia de enfermedades y parásitos en hojas, tallos y flores. -Monitoreo del crecimiento y desarrollo de las plantas. -Recolección de material orgánico para composta.	Temporada de germinación y floración	Temporada de calor, sequía y fuego		Temporada de lluvias
		-Época de siembra en suelo y contenedor. -Fertilización de suelos. -Poda de rizomas y establecimiento de esquejes. -Monitoreo de algas. -Monitoreo de fauna silvestre y propagación de insectos.	-Remoción de material combustible dentro y alrededor del sistema. -Bajar el nivel del agua en columna de agua a la mitad de capacidad. -Remoción de material enfermo o muerto. -Monitoreo de algas. -Revisión de tuberías y bombas.	-Propagación aérea de semilla -Plantar individuos germinados en macetas (compradas o propias). -Remoción de vegetación seca en plantas con bulbos y tubérculos. -Recolección de frutos y semillas. -Bajar el nivel del agua en columna de agua a 30 cm sobre el fondo del agua para mantenimiento de contenedores, remoción de lodos, trasplante y obtención de rizomas para propagación. -Mantenimiento de paredes, muros y estructuras en general.	-Poda de plantas arbustivas en dormancia. -Monitoreo del nivel de agua en época de lluvias. -Reubicación de agua en caso de exceder capacidad. -Trasplante plantas susceptibles a heladas en invernadero o zona interior.
Sumergidas y Flotantes	-Monitorear crecimiento, desarrollo y salud de las plantas. -Revisión del aspecto del agua (visual y olor)	-Introducción de canastas con nuevas plantas. -Poda vegetativa que excede el nivel del agua en sumergidas y mantener 1/3 a 2/3 de cobertura en flotantes. -Trasplante de individuos cuando raíces exceden el contenedor. -Mantener cobertura de suelo de 1 a 2 individuos por 30 cm²	-Recolección de semillas.	-Poda vegetativa de plantas sumergidas que excedan el nivel del agua. -Trasplante de individuos sumergidos con raíces protuberantes. -Germinar plantas flotantes en invernadero o en zona interior para obtener planta madura en primavera. -Poda vegetativa de flotantes para mantener cobertura ideal.	-Plantas poco tolerantes a agua con temperaturas menores a 60 F o 15 C deben reubicarse a invernadero o zona interior donde se pueda mantener la temperatura del agua si no se desea comprar estas plantas cada primavera.

con inviernos templados y veranos cálidos con poca humedad ambiental característico de una zona semiárida.

Según (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011), los beneficios de la poda vegetativa de plantas en humedales artificiales son:

- La remoción de nutrientes
- Menor biomasa implica un trabajo menos intensivo en el mantenimiento de la plomería, estructuras y bombas.
- El material removido se puede reutilizar en forraje, paja, y material de composta.

Los beneficios de no podar las plantas en humedales artificiales son:

- La creación de una capa aislante del material vegetal muerto que ayuda a mantener la temperatura del suelo en temporadas frías o templadas.
- Suministro de carbono para la desnitrificación, en el caso de que el aporte de nitrógeno sea alto.
- No altera el funcionamiento ecológico del humedal.
- Menos trabajo para el personal de mantenimiento.

Para este caso de estudio, se recomienda podar la vegetación con discreción de acuerdo a la respuesta y necesidades de las mismas. Por lo tanto, de forma rutinaria, se recomienda remover el material vegetativo necesario para mantener la estética del humedal. En la temporada de primavera se debe revisar la vegetación y eliminar los individuos muertos para facilitar la germinación y trasplante de nuevos individuos. En la temporada de otoño hay que dejar una capa de material vegetal muerto para mantener temperatura en el suelo en las zonas de suelo expuesto en preparación para la temporada de invierno. Antes de comenzar la temporada de lluvia, el sistema deberá dejarse con el nivel mínimo de agua en el estrato de arena y/o columna de agua (0 a 30 cm aproximadamente) para recibir el agua entrante por precipitación pluvial.

Las experiencias en zonas con clima cálido han demostrado que las plantas en los humedales de flujo vertical deben ser removidas cada dos años para permitir una inspección visual del sistema de riego o plomería (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011). En este caso particular, por estar rodeado de actividades antrópicas, se recomienda una limpieza a fondo del sistema cada dos años, incluyente de inspección de plomería y perfil químico del agua del pozo anexo y noria, además del mantenimiento rutinario. Si las actividades rutinarias son laxas, una limpieza a fondo cada año es recomendable para no sobrecargar el sistema de distribución hídrica.

No se deben usar sustancias químicas para el control de plagas en vegetación emergente. Esto incluye, herbicidas, fungicidas, insecticidas, plaguicidas o venenos. Generalmente, no son comunes las plagas en vegetación acuática. En el caso de tener una o varias plantas enfermas por plaga (hongos o insectos) es mejor quitar la porción afectada o quitar toda la planta y sustituir por otra, ya sea de la misma u otra especie, dependiendo de la susceptibilidad de la planta. Lo más importante es tener paciencia y dejar que naturalmente se alcance un balance; el cual en un humedal recién construido no es inmediato y puede tardar algunos años al igual que el viñedo.

4.3.3 Fauna Silvestre

Lo primero que se va notar al establecer el humedal es un incremento en avistamientos de diferentes tipos de fauna silvestre, como son aves, reptiles, anfibios, insectos y mamíferos pequeños. Algunos de estos animales son bienvenidos por ser vistosos y bonitos, otros son desagradables o temibles. Por esta razón, debe uno concientizar a los usuarios y visitantes de este humedal que todos los organismos que habitan son de beneficio y utilidad; no por ser más aceptados algunas especies tienen preferencia sobre otras. Si alguna de estas poblaciones se desbalancea hay que consultar un experto y evitar exterminar la especie. Sobre todo, como anteriormente se mencionó, evitar la utilización de sustancias tóxicas y venenosas. Todas las especies están ligadas por la cadena trófica y relaciones inter e intraespecíficas, la abundancia de una es respuesta a la ausencia de otra o el incremento de algún componente. Aun así, hay límites y con tiempo generalmente todo tiende a balancearse. En caso de encontrarse en una situación desbalanceada, se debe ver la causa y atenderlo antes de aplicar un remedio drástico que dará una mejora temporal pero no una solución al problema.

En el caso de optar por una propuesta con columna de agua e introducir peces, es importante que se tengan los tres tipos de vegetación acuática, incorporar un aireador solar en el centro de la zona más profunda de la columna de agua, controlar la proliferación de algas para mantener niveles adecuados de oxígeno y la columna de agua se debe mantener libre de cloro y otras sustancias potencialmente tóxicas para la manutención de peces. En este caso, se deben incorporar peces pequeños (*minnows*) que tengan en su base alimenticia la ingesta de larvas de mosquito para que estos sean un método natural de control de esta especie nociva. Antes de cualquier adición se debe checar que no haya restricciones legales, ya que, algunas especies son consideradas invasivas. Para no errar es importante consultar a expertos para una recomendación adecuada. Estos peces son comúnmente encontrados en tiendas de mascotas en Estados Unidos y en acuarios. En Ensenada, B. C., se encuentran varios grupos en redes sociales

dedicadas al mantenimiento de acuarios y venta de especies; entre ellos Acuarios Ensenada MX y Peces, Peceras y Accesorios Ensenada.

El pez mosquito *Gambusia affinis* es una especie que se encuentra habitando en el humedal de la Misión, humedal ubicado aproximadamente 48 Km de la ciudad de Ensenada, B.C., y es una especie ampliamente utilizada a nivel mundial para el control de mosquitos. Esta especie es nativa de las cuencas del Golfo de México y por ende es considerada especie exótica y extremadamente invasiva en el resto del mundo (Nico, et al., 2021). No se recomienda esta especie, aunque sea recomendada en tiendas, porque requiere un cuidado extremo con su manejo.

4.3.4 Tareas Operativas del Sistema de Distribución Hídrica

Esta sección se refiere al mantenimiento del sistema de distribución hídrica para el manejo eficiente del lecho filtrante. Estas tareas están basadas en las recomendaciones según (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011), para humedales artificiales de flujo vertical. Estas tareas incluyen el control periódico de:

- Bombas.
- Estructuras de entrada para la remoción de obstrucciones en el flujo de agua que alteren la distribución y nivel del agua.
- Estructuras de salida para la remoción de obstrucciones de desagüe, recirculación y nivel de agua.
- Enfermedades y plagas en la vegetación dentro y alrededor del humedal.
- Exceso e individuos muertos de algas filamentosas se deben concentrar en las orillas para facilitar la remoción manual de las mismas. No es necesario utilizar maquinaria, ni tratamientos químicos para controlarlas.
- En el caso de recibir agua tratada, se deberá revisar la relación entre la carga hidráulica y la carga de contaminantes y el caudal del afluente.

Hacer caso omiso a un mantenimiento rutinario traerá como consecuencia los siguientes problemas:

- Mala distribución del agua en el sistema reflejados en deterioro de salud, mal aspecto y mortandad de la vegetación.
- Baja eficiencia de filtración del agua reflejado en un resultado de calidad de agua igual o por debajo de lo normal y contaminación potencial del pozo.
- Sobrecarga local de materia orgánica y malos olores.

- Trabajo intensivo para el personal de mantenimiento al realizar limpieza a fondo del sistema.

Para evitar estos problemas el aspecto del efluente debe ser analizado de forma visual y por su olor. Un efluente turbio, gris y olores sulfurosos es indicativo que el efluente no está bien distribuido en el sistema y se encuentra mal oxigenado. Esto se evita con lapsos largos de bombeo, bajando el nivel del agua, un aireador solar ubicado la zona central de la columna de agua (en el caso de manejar una) y tuberías libres de obstrucciones. El bombeo se deberá hacer a discreción en un rango de 4 a no más de 12 sesiones de bombeo diarias. Colores amarillentos o marrones en el efluente son colores normales debido actividad microbiana en el suelo por la formación de ácidos húmicos que pueden o no, además, proporcionar un aspecto grasoso al agua. Presencia de grasa insaturada en la superficie del agua, también puede ser indicativa de una obstrucción o falta de mantenimiento en la trampa de grasa en la tubería de desagüe del restaurante.

El agua de pozo deberá ser analizada cada año por un laboratorio si no se cuenta con un equipo básico de monitoreo de calidad de agua en la propiedad. En el caso de contar con este equipo, se puede analizar el agua en laboratorio cada dos años para tener un resultado base para la referencia de datos cualitativos y cuantitativos realizados internamente.

5 CONCLUSIONES

Esta tesis cumplió con el objetivo general de desarrollar los lineamientos de diseño y construcción de un humedal artificial adaptado para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico del sector vitivinícola del Valle de Guadalupe.

Presenta un inventario de los cuerpos de agua dulce existentes en el Valle de Guadalupe, tanto naturales como artificiales que semejan a un humedal. Se encontró que en su mayoría son cuerpos de origen antropogénico utilizados para la captación de agua de lluvia y de uso recreativo. Esta información refleja las tendencias de los propietarios para solventar el problema de escasez hídrica por medio del uso de piletas de concreto y construcciones estéticas para la promoción turística de la zona.

En las zonas donde se encuentra una mayor afluencia de restaurantes con hospedaje se observa un número grande de piscinas o albercas. En las zonas donde la actividad principal es agrícola se observan reservorios o captadores de agua de lluvia. Con el “boom” del vino en la región, se observa que las vinícolas han optado por usar charcas o espejos de agua como elementos estéticos para atraer turismo a sus negocios. Por lo tanto, en lugar de ver una zona industrial, se

observa una zona turística donde el principal atractivo es el paisaje campirano, la degustación de vino y la gastronomía particular que caracteriza al Valle de Guadalupe. Consecuentemente, este resultado determina un criterio de diseño importante. Cualquier propuesta de diseño que se promueva en esta región tiene que ser estético con elementos recreativos dirigidos al turismo de la región. La construcción debe evitar materiales como concreto y los plásticos, ya que, han resultado ineficientes en esta zona.

Se realizó una descripción de la región vitivinícola como una zona semiárida de escaso recurso hídrico superficial y un acuífero sobreexplotado que ha culminado en una crisis hídrica (CONAGUA, 2020; Daesslé, et al., 2006; Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California, 2006). Se han hecho varios estudios y se han propuesto varios proyectos para solventar esta crisis, pero el problema persiste (CANACINTRA, 2014). Esta situación ha dado lugar a que cada propietario incorpore diferentes estrategias para manejar el recurso hídrico de su propiedad generando una situación idónea para la promoción de los humedales artificiales como herramienta de manejo del recurso hídrico de cada propiedad.

Los principales retos encontrados en este estudio, son los suelos altamente permeables. Esto indica que cualquier vinícola con suelos franco arenosos tendrá que modificar el suelo del sitio donde se quiera desarrollar un humedal artificial, lo cual implica una mayor inversión de dinero.

Un humedal no puede construirse en cualquier sitio. La selección del sitio de construcción se fundamenta con un estudio de terreno y análisis hidrológico para poder garantizar el agua necesaria para mantener el sistema.

Con base en diseños tradicionales y criterios preestablecidos por diferentes autores como (Wu, et al., 2015; Zhang, et al., 2014; Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011), se identificaron criterios generales para seleccionar el tipo de humedal que mejor se adapta a esta región vitivinícola. Tales criterios son el tamaño del terreno que se desea desarrollar y la fuente de agua que alimentará al sistema. Tomando en cuenta que la mayoría de los predios son terrenos menores a 2,500 m², los suelos son altamente permeables, las lluvias anuales son escasas y las temperaturas en verano son altas, el tipo de humedal que mejor se adapta a esta región vitivinícola es el humedal subsuperficial vertical o humedal subsuperficial híbrido alimentado con agua subterránea o un captador de agua tipo cisterna, pozo o noria.

Para este caso de estudio, se determinó que el sitio para el humedal es idóneo por encontrarse en el paso de una escorrentía superficial de flujo moderado que alimenta una noria y un pozo anexo. Además, se encuentra en la base de una pendiente con aporte directo de agua pluvial.

Por el tamaño reducido del sitio (300 m²) y la limitada cantidad de agua se concluye que, el tipo de humedal artificial subsuperficial vertical con o sin elementos híbridos es la mejor opción para lograr una adaptación exitosa del terreno.

Se documentó el proceso de desarrollo de tres propuestas de diseño que incorporan el logo y la misión de la empresa como concepto de diseño. Estas propuestas incorporan elementos de paisaje y aspectos de índole social, económico y funcional para llegar a un diseño con potencial de alcanzar un manejo sostenible a largo plazo. Además, en este caso de estudio, se tuvo la particularidad de proponer un diseño funcional que se adapta a un sitio previamente desarrollado para ser un captador de agua o equivalente. En consecuencia, se tuvo que implementar metodología no convencional en proyectos de ingeniería. Aunque las propuestas de diseño están basadas en diseños tradicionales de humedales artificiales, por la metodología utilizada para abordar el proyecto, el diseño del sistema es único e innovador. Por esta misma razón, constructoras se encuentran con la dificultad de cotizar las propuestas ya que el levantamiento de datos realizado en este proyecto no empata con los que comúnmente se realizan y se les dificulta adaptar datos ajenos. Por lo tanto, cualquier constructora que se contrate insistirá en hacer un levantamiento de datos hidrológicos y de terreno, aunque resulte redundante.

Se optó por ofrecer tres propuestas de diseño, para que el propietario pudiera elegir la propuesta que más se acerca a su visión particular. Para las tres propuestas se tomó en cuenta la lista de necesidades, los usuarios del sistema, los elementos de paisaje, concepto de diseño y aspectos socio-económicos de la empresa.

Las tres propuestas, aunque se diseñaron con los mismos criterios, se diferencian en el costo de inversión y el tipo de manejo requerido para mantener el balance del socio-ecosistema. Entre más elementos haya que balancear mayor será la complejidad del sistema. Por lo tanto, las actividades para el manejo incrementan de forma proporcional a la complejidad del sistema.

En la

Tabla 17, se observan las diferencias principales entre las propuestas tomando en cuenta el costo de inversión según el costo de materiales básicos de construcción y las actividades principales para el manejo que se resumen en las tablas Tabla 15 Tabla 16). Los costos que se observan en la tabla 15 no son costos definitivos y al cotizarlos con una constructora o directamente con proveedores están sujetos a variaciones, pero sirven para contextualizar la situación consecuente de cada propuesta. Además, al definir una propuesta de diseño esta estará sujeta a cambios según los gustos y restricciones económicas del propietario.

Tabla 17. Comparación entre propuestas según el costo de inversión de los materiales básicos de construcción y las principales actividades de manejo del sistema según tablas 15 y 16.

Propuesta de diseño	Costo de inversión	Manejo
1: logo en surcos, cerrada al público	Moderado	Bajo
2: logo en andadores, abierto al público	Alto	Moderado
3: logo en grava o canto rodado con columna de agua, cerrado al público	Bajo	Alto

Como se observa en la Tabla 17, no hay una propuesta que sea de bajo costo y sencillo de manejar. La primera propuesta ocupa una inversión significativa para su construcción, pero al ser un sistema cerrado al público lo hace un sistema que no ocupa tanto mantenimiento en tubería (visitantes no podrán accidentalmente pisarlas) y el manejo recae en la vegetación y el sistema de bombeo, aunque en temporada de lluvia y cuando la noria esté a su máxima capacidad, el agua se podrá dirigir al sistema por flujo horizontal por gravedad, minimizando el uso del sistema de bombeo.

La segunda propuesta es muy similar a la primera con la diferencia de que es abierta al público en general. Por este simple hecho, el humedal ocupará más actividades para mantenerlo limpio y estético. Además, ocupará mayor mantenimiento en tubería y sistema de bombeo ya que el sistema será altamente dependiente de estos elementos para alimentar el agua al humedal.

La tercera propuesta ocupa menos materiales de construcción, lo cual mantiene un costo bajo de inversión, pero es el sistema con mayor complejidad, ya que, comprende una columna de agua que requiere actividades especiales para su manutención y manejo que su contraparte terrestre no tiene.

Generalmente durante la construcción, o previa a ella, se enfrentan situaciones donde por falta de recursos, personal, material, tecnología e incluso cambios en el sitio de construcción no puede desarrollarse fielmente a lo propuesto. En este caso se debe considerar la construcción por etapas o la deconstrucción.

Para el caso de deconstrucción se recomienda que el sitio se maneje como un jardín convencional. Las capas sedimentarias, aun sin vegetación popal-tular, fungirán como sustrato filtrante. No podrán eliminar contaminantes específicos como metales pesados, pero para la

depuración de agua gris y de lluvia es suficiente. Esta situación puede usarse como preludio a el establecimiento del humedal o en el caso a la deconstrucción del humedal, aunque el sistema no rendirá los mismos valores ambientales que un humedal. En el caso de optar por la tercera propuesta, la zona donde se ubica la columna de agua se puede utilizar como charca vernal en temporada de lluvias y como zona de huerto temporal el resto del año.

La tubería subsuperficial se encuentra a 30 cm de profundidad para una remoción relativamente simple. El suministro de agua subsuperficial puede ser reemplazado por riego superficial por goteo y optar por paisajismo de chaparral costero conocido como xeropaisajismo (Miller, 2008).

En conclusión, el propietario tendrá que decidir cuál es la propuesta de diseño con la cual le es más compatible en su visión y manejo. En cualquier caso, se recomienda que se opte por designar un sitio para la elaboración de composta (si no se tiene uno aún) y que se invierta en un invernadero para la propagación y manutención de la vegetación del humedal y la propiedad en general. Si se opta por un diseño con columna de agua, un invernadero será necesario para poder mantener las plantas acuáticas en el invierno y poder propagarlas exitosamente. De lo contrario los costos de manutención y reemplazo de vegetación serán considerables a largo plazo.

Independientemente de la propuesta que se elija, se encontró que la adaptación de este sitio con un humedal artificial subsuperficial vertical basados en principios de arquitectura del paisaje, emprendurismo, ingeniería y limnología le ofrece al propietario los siguientes valores ambientales:

- Un sitio para captar agua de lluvia, gris o tratada.
- Un sitio para depurar el agua capturada de contaminantes.
- Abastecer el pozo anexo con agua limpia y mejorar la calidad del agua del mismo.
- Un lugar para promover actividades recreativas y culturales como la fotografía, pintura, degustación de vinos, intercambio de ideas y la observación de flora y fauna característica de la región, de tipo ornamental y particular de humedales.
- Valor estético tanto para la vinícola como el restaurante.
- Fuente de plantas de valor gastronómico, artesanal, medicinal y económico.
- Fuente de trabajo para gente local.
- Promoción de actividades ecoturísticas.
- Sitio para la promoción de la educación ambiental.
- Un laboratorio vivo para la promoción de nuevos proyectos de investigación.
- Promoción de actividades ecológicas sustentables.

Una vez establecido el humedal además de obtener valores ambientales y ecosistémicos, también ofrece la oportunidad de realizar distintos proyectos para el futuro para lograr el manejo sostenible del humedal, estos son:

- Proyecto para la elaboración de composta natural para el manejo de la vegetación terrestre y de transición tanto del humedal como de la propiedad.
- Proyecto de invernadero para la propagación y mantenimiento de la vegetación nativa y acuática.
- Proyecto para medir la evaporación de suelos y evapotranspiración de la vegetación del humedal usando sistemas de información geográfica.
- Proyecto para medir calidad de agua y capacidad de eliminar contaminantes, tales como metales pesados en el caso de recibir aguas tratadas experimentando con distintas especies de vegetación.
- Talleres de capacitación para personas locales sobre el manejo de humedales artificiales.
- Talleres para la promoción cultural, venta y elaboración de artesanías típicas de la región.
- Talleres para el aprovechamiento y reciclaje de materias primas y de desperdicio que influyan en el manejo del humedal (por ejemplo, elaboración de jabón artesanal con aceite de desperdicio y elaboración de papel o cartoncillo de algas filamentosas y otros tipos de vegetación).
- Estructuración de un bio-negocio para la promoción de los humedales artificiales, tanto en el valle de Guadalupe como en otras regiones vitivinícolas y/o agrícolas.
- Publicación con la vegetación característica del valle de Guadalupe para la promoción del ecoturismo.

Siendo de tanta ventaja tener un humedal artificial funcional visto en la perspectiva de socio-ecosistema, es posible ofrecer este sistema en otras vinícolas. Siempre y cuando el sitio tenga los elementos necesarios para su establecimiento. Estos elementos son:

- Una fuente confiable de agua, preferentemente constante.
- Suelos ricos en arcilla, aunque estos siempre se pueden alterar.
- Ubicación con buena exposición solar y árboles o estructuras que provean sombra.
- Disposición, dedicación, entendimiento y compromiso para el correcto manejo del humedal.

Finalmente, una vez establecido el humedal artificial diseñado para este caso de estudio, se tendrán los datos suficientes para desarrollar una propuesta de negocio que promueva este

sistema como herramienta para el manejo sostenible del agua en zonas semiáridas del municipio de Ensenada.

REFERENCIAS

- Alcazar, P., Espejel, M. I., Reyes Orta, M., & Arredondo, M. C. (2020). Retrospective assessment as a tool for the management of sustainability in diversified farms. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(1), 30-53.
- am. (31 de Julio de 2018). *am Noticias*. Obtenido de Baja California es el estado que produce la mayor cantidad de vino en el país: <https://www.am.com.mx/noticias/Baja-California-es-el-estado-que-produce-la-mayor-cantidad-de-vino-en-el-pais-20180731-0127.html>
- Anaya Garduño, M. (2011). *Captación del agua de lluvia, solución caída del cielo*. México: Primera.
- Anderson, B. W. (1995). Salt cedar, revegetation and riparian ecosystems in the southwest. *California exotic pest plant council, symposium proceedings*.
- Bauder, E. T., & Mcmillan, S. (1998). Current Distribution and Historical Extent of Vernal Pools in Southern California and Norther Baja California, Mexico. In C. W. Witham, E. T. Bauder, D. Belk, J. Ferren, & R. Ornduff (Ed.), *Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems – Proceedings from a 1996 Conference* (pp. 56-70). Sacramento, CA: California Native Plant Society. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Ellen-Bauder/publication/228587889_Current_distribution_and_historical_extent_of_vernal_pools_in_southern_California_and_northern_Baja_California_Mexico/links/567885d008ae0ad265c83476/Current-distribution-and-historica
- Berlijn, J. D., & Brouwer, C. (2014). *Riego y Drenaje*. (F. Orozco Luna, Ed.) México: Trillas.
- Bianchi, D., Grossi, D., Tincani, D. T., Di Lorenzo, G. S., Brancadoro, L., & Rustioni, L. (2018). Multi-parameter characterization of water stress tolerance in Vitis hybrids for new rootstock selection. (Elsevier, Ed.) *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 333-340.
- Brix, H. (1999). How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? *Water Science and Technology*, 40(3), 45-50.
- Campos, R. (2008). *Simulación de agua subterránea en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México*.
- CANACINTRA. (2014). *Foro del Agua: Problemática y soluciones*. Obtenido de <http://www.canacindraens.org/download/forodelagua/Foro%20del%20agua.pdf>
- CEPIS, O. (2005). *Guía de para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima: Organización Paramericana para la salud.
- CONABIO. (13 de 08 de 2019). *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/serviciosam.html>
- CONAGUA. (2 de 2 de 2017). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de Blog: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/gracias-al-inh-sabemos-cuantos-humedales-hay-en-mexico?idiom=es>
- CONAGUA. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Guadalupe (0207), estado de Baja California*. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de aguas subterráneas, México.

- CONAGUA. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Guadalupe (0207), Estado de Baja California*. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. México: Gobierno de México. Obtenido de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCalifornia/DR_0207.pdf
- Consejo Mexicano Vitivinícola. (2020). *El vino mexicano en números*. Obtenido de <http://uvayvino.org.mx/>
- Costa, J. M., Vaz, M., Escalona, J., Egipto, R., Lopes, C., Medrano, H., & Chaves, M. M. (2016). Modern viticulture in southern Europe: Vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. *Agricultural Water Management*, 164, 5-18.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., & LaRoe, E. T. (1979). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. Fish and Wildlife Service. Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office.
- Cristeche, E., & Penna, J. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Daesslé, L. W., Andrade Tafoya, P. D., Lafarga Moreno, J., Mahlknecht, J., van Geldern, R., Beramendi Orosco, L. E., & Barth, J. A. (2020). Groundwater recharge sites and pollution sources in the wine producing Guadalupe Valley (Mexico): Restrictions and mixing prior to transfer of reclaimed water from the US-Mexico border. *Science of the Total Environment*(713), 136-715.
- Daesslé, L. W., Mendoza Espinosa, L. G., Camacho Ibar, V. F., Rozier, W., Morton, O., Van Dorst, L., . . . Rodríguez Pinal, A. (2006). The hydrochemistry of a heavily used acuífer in the Mexican wine producing Guadalupe valley, Baja California. *Environmental Geology*.
- Departamento de Investigación y Capacitación de AgroComunal Venezuela. (24 de Diciembre de 2015). *Métodos de labranza para la conservación y mejoramiento de los suelos*. (A. Comunal, Ed.) Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de Agro-Blogger: <https://agro-blogger.blogspot.com/2015/12/metodos-de-labranza-para-la.html>
- Díaz Coutiño, R. (2015). *Desarrollo sustentable una oportunidad para la vida*. México: McGraw Hill.
- Espejel, M. I., Díaz de León, S., Moreno Casasola, P., Vázquez González, C., & Hernández, M. E. (2016). *Servicios ecosistémicos de la selva y bosques costeros de Veracruz* (Primera ed.). (P. Moreno Casasola, Ed.) Instituto de Ecología A. C. Obtenido de www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios_Ecosistémicos_de_las_Selvas_y_Bosques_Costeros_de_Veracruz.pdf
- EVANS. (2021). *EVANS*. Recuperado el junio de 2021, de <https://evans.com.mx/mkt/catalogo/flipbooks/bombas-sv/download/bombas-sv.pdf>
- FAO. (2019). *Sustainable Food and Agriculture an Integrated Approach*. Elsevier.
- Figuerola Núñez, A., & Campos Gaytán, J. R. (2018). Simulación numérica del agua subterránea en el acuífero Guadalupe, Ensenada, Baja California, México: Caso de estudio, condiciones estacionarias y transitorias. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(75), 46-54.
- File: Western Fence Lizard Courting.jpg. (02 de 09 de 2020). *Wikimedia Commons, the free media repository*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Western_Fence_Lizard_Courting.jpg&oldid=451686501.
- Fundación para el conocimiento MADRIMASD. (05 de 07 de 2006). *MADRIMASD Blogs*. (J. J. Ibáñez, Editor) Obtenido de Un universo invisible bajo nuestro pies. Los suelos y la vida: www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887

- González, S. (2015). Cadena de valor económico del vino de Baja California. *Estudios Fronterizos, nueva época*, 16(32), 163-193. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/estfro/v16n32/v16n32a6.pdf>
- Gopal, B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. *Water Science and Technology*, 40(3), 27-35.
- Haberl. (1999). Constructed wetlands: A chance to solve wastewater problems in developing countries. *Water Science and Technology*, 40(3), 11-17.
- Haberl, R. G. (2003). Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. *Journal of Soils and Sediments*, 3(2), 109-124.
- Hernández Moreno, S. (2016). *Selección y Diseño Sustentable de Materiales de Construcción*. México: Trillas.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5a. ed.). México: McGraw Hill.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. (W. F. Network, Ed.) Londres: Earthscan.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & von Muench, E. (2011). *Technology Review of Constructed Wetlands. Subsurface flow constructed wetlands for graywater and domestic wastewater treatment*. Eschborn: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ. Programa de saneamiento sostenible ECOSAN.
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 2021, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>
- INEGI. (2017). *INEGI*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/>
- Lamastra, L., Balderacchi, M., Di Guardo, A., Monchiero, M., & Trevisan, M. (2016). A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. *Science of the Total Environment*, 572, 724-733.
- Lamastra, L., Suciú, N., Novelli, E., & Trevisan, M. (15 de Agosto de 2014). A new approach to assessing the water footprint of wine: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 490, 748-756.
- Lambert, A. (2003). Valoración económica de los humedales: un componente importante de las estrategias de gestión de los humedales a nivel de las cuencas fluviales. *Convención de Ramsar*.
- Landgrave, R., & Moreno Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental*, 1(4), 19-35.
- Lembi, C. A. (1997). *Aquatic pest control*. West Lafayette: Purdue University Cooperative Extension Service.
- Lembi, C. A. (2003). *Aquatic Plant Management*. West Lafayette: Purdue University Cooperative Extension Service.
- Lesur, S. (2017). *Manual de diseño construcción y equipamiento de albercas: una guía paso a paso* (Primera ed.). México: Trillas.

- Leyva, C., & Espejel, M. I. (2014). Áreas verdes naturales: Ensenada. En L. y. Ojeda Revah, *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos. La visión de Baja California* (págs. 121-147). Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.
- Macías, V. (19 de 3 de 2014). *Forbes México*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/mexico-y-sus-humedales-en-el-mundo/>
- Malcom, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., & Hannah, L. (2006). Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology*, 20(2), 538-548.
- May, F. E., & Ash, J. E. (1990). An assesment of the allelopathic potential of Eucalyptus. *Australian Journal of Botany*, 38(3) 245 - 254.
- Miller, G. (2008). *Landscaping with Native Plants of Southern California*. Minneapolis: Voyageur Press.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35(200), 25-33.
- Montiel Molina, J. A. (2013). *Distribución de flora rara y endémica de charcas vernaes en relación a las propiedades fisicoquímicas del suelo*. Tesis, Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada.
- Moran, R. (1984). *Vernal pools in northwest Baja California, Mexico*. University of California, Davis, Institute of Ecology. Davis: University of California Press.
- Nico, L., Fuller, P., Jacobs, G., Cannister, M., Larson, J., Fusaro, A., . . . Neilson, M. E. (2021, 2 8). *USGS, Nonindigenous aquatic species database*. Retrieved from <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=846>
- Ojeda, L. (2017). *Construcción y evaluación de un humedal artificial horizontal a escala piloto para el tratamiento de aguas grises en Mexicali, B.C*. Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Mexicali: UABC.
- Pavlis, R. (2017). *Building Natural Ponds*. Canada: New Society Publishers.
- Payán, J. (2014). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de humedales construidos en regiones semiáridas. Caso de estudio: Centro de Ingeniería y Tecnología-UABC, Valle de las Palmas*. Universidad Autónoma de Baja California, Ingeniería. Mexicali: UABC.
- Pérez Quezada, J. (2006). Viticultura de precisión aplicada al viñedo. *Revista Enológica*, III(2). Recuperado el 20 de Marzo de 2020, de http://www.agronomia.uchile.cl/documentos/agricultura-de-precision-aplicada-al-vinedo_55753_2.pdf&hl=en&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=2745297996332183504&ei=MYJ1Xp6UAr-D6rQPqomSqA0&scsig=AAGBfm2VonaVPgdhuk7ugYEdGd3toXxD7Q
- Price, T., & Probert, D. (1997). Role of constructed wetlands in environmentally-sustainable developments. *Applied Energy*, 129-174.
- Rai, U. T. (2013). Constructed wetland as a ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river. *Bioresource Technology*(148), 535-541.
- Rangel, N. L. (2014). *Análisis territorial para la conservación de los humedales e la región mediterránea de Baja California, México*.
- Reyes Orta, M., Olague, J., & Verján, R. (1992). ESTRATEGIA DE GESTIÓN PÚBLICA PARA UN ENOTURISMO SUSTENTABLE A PARTIR DE LA PERCEPCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES El Valle de Guadalupe (México). *Estrategia de gestión pública para el enoturismo sustentable*, 27, 375-389.

- Secretaría de Protección al Ambiente Gobierno del Estado de Baja California. (8 de Septiembre de 2006). Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor de San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe. *Periódico Oficial de Baja California*.
- SEMARNAT. (2 de 2 de 2017). *Humedales, donde la vida es pródiga...* Obtenido de <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/humedales-donde-la-vida-es-prodiga>
- Senties, K. (10 de Diciembre de 2014). *Clòs de Tres Cantos: Vinos con filosofía y conciencia*. Obtenido de Saborearte: <http://www.saborearte.com.mx/clos-de-tres-cantos-vinos-con-filosofia-y-conciencia/>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1997). *Manejo de las áreas verdes urbanas. Documento de buenas prácticas*. Washington D.C.: Departamento de Desarrollo Sostenible-Banco Interamericano de Desarrollo.
- Sustainable Agriculture Initiative . (2010). *WATER CONSERVATION TECHNICAL BRIEF: Use of a conservation tillage system as a way to reduce water the footprint of crops*. Obtenido de Sustainable Agriculture Initiative Platform: www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/node/451
- Townsend, C. R. (2000). *Essentials of Ecology*. Malden: Blackwell Science, Inc.
- UNAM. (7 de 7 de 2011). *Humedales Artificiales: Alternativa Sustentable para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de <https://humedalesconstruidos.wordpress.com/>
- United States Environmental Protection Agency. (6 de Julio de 2018). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de Wetlands: <https://www.epa.gov/wetlands/vernal-pools>
- United States Fish and Wildlife Service. (1998). *Vernal Pools of Southern California: Recovery Plan*. Region 1, Fish and Wildlife Service.
- Vázquez León, C. I. (2015). *El contexto socioeconómico de la escasez de agua en la región de San Quintín, Baja California*. (H. Riemann, Ed.) Red Nacional de Investigación Urbana.
- Viveros Barber. (21 de Agosto de 2017). *Vitivinicultura*. Obtenido de Portainjertos: ¿Qué es un portainjerto de vid?: <http://www.vitivinicultura.net/portainjertos-que-es-un-portainjertos.html>
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., . . . Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology*, 596-601.
- Yu, X. E. (2018). Wetland recreational agriculture: Balancing wetland conservation and agrodevelopment. *Environmental Science and Policy*(87), 11-17.
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K. S., Gersberg, R. M., Liu, Y., Ng, W. J., & Tan, S. K. (2014). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries – A review of recent developments (2000–2013). *Journal of Environmental Management*, 141, 116-131.

ANEXOS

ANEXO 1. Inventario y clasificación de cuerpos de agua del Valle de Guadalupe.

LONG.	LAT.	CUERPO DE AGUA	LOCALIDAD	NEGOCIO
116°40'32.00"	32° 0'57.32"	Alberca	El Porvenir	Quinta del Valle
116°40'9.28"	32° 0'50.04"	Alberca	El Porvenir	
116°39'56.68"	32° 0'53.59"	Alberca	El Porvenir	Cabañas las Encantadas
116°39'56.54"	32° 0'56.32"	Alberca	El Porvenir	Cabañas las Encantadas
116°39'47.32"	32° 0'56.54"	Alberca	El Porvenir	Tras La Lomita
116°39'48.01"	32° 0'43.73"	Alberca	El Porvenir	Quinta Los Rivera
116°39'45.78"	32° 0'42.68"	Alberca	El Porvenir	Quinta Los Rivera
116°39'42.75"	32° 0'47.98"	Alberca	El Porvenir	
116°38'13.61"	32° 1'9.95"	Alberca	El Porvenir	
116°36'54.50"	32° 1'34.79"	Alberca	El Porvenir	Viñas de Garza
116°36'35.68"	32° 1'29.85"	Alberca	El Porvenir	Vinos Martlot
116°38'31.23"	32° 4'45.96"	Alberca	El Porvenir	
116°38'29.75"	32° 4'44.14"	Alberca	El Porvenir	
116°37'38.15"	32° 5'0.90"	Alberca	El Porvenir	Predio los Alamitos
116°37'33.42"	32° 5'2.10"	Alberca	El Porvenir	Predio los Alamitos
116°35'44.12"	32° 3'23.27"	Alberca	El Porvenir	
116°35'51.86"	32° 3'16.67"	Alberca	El Porvenir	Rancho SINDETEL
116°39'25.83"	32° 0'35.45"	Humedal	El Porvenir	Vinicola Roa
116°37'39.83"	32° 5'0.08"	Humedal	El Porvenir	Predio los Alamitos
116°41'7.74"	32° 0'52.63"	Humedal	El Porvenir	
116°39'50.18"	32° 1'51.77"	Humedal	El Porvenir	
116°37'12.43"	32° 1'43.56"	Humedal	El Porvenir	
116°40'47.47"	32° 1'7.53"	Humedal	El Porvenir	Quesos Cortez
116°38'54.31"	32° 1'4.78"	Reservorio	El Porvenir	Corona del Valle
116°38'35.42"	32° 1'24.19"	Reservorio	El Porvenir	Don Tomas Viñedos
116°37'22.11"	32° 1'48.13"	Reservorio	El Porvenir	Viñas de la Erre
116°37'6.67"	32° 1'36.97"	Reservorio	El Porvenir	Viñas de Garza
116°37'13.88"	32° 1'43.12"	Reservorio	El Porvenir	
116°36'33.40"	32° 1'32.86"	Reservorio	El Porvenir	Vinos Martlot

LONG.	LAT.	CUERPO DE AGUA	LOCALIDAD	NEGOCIO
116°36'53.60"	32° 2'4.83"	Reservorio	El Porvenir	Vinícolas Castillo Ferrer
116°39'47.77"	32° 1'56.13"	Reservorio	El Porvenir	
116°39'45.60"	32° 2'4.13"	Reservorio	El Porvenir	
116°40'8.56"	32° 2'58.21"	Reservorio	El Porvenir	Villas Montefiori
116°39'35.66"	32° 2'58.63"	Reservorio	El Porvenir	Vinos Pasion Biba
116°39'33.49"	32° 3'28.87"	Reservorio	El Porvenir	Mansarda
116°39'17.23"	32° 4'9.64"	Reservorio	El Porvenir	Finca la Carrodilla
116°39'13.90"	32° 4'13.16"	Reservorio	El Porvenir	Finca la Carrodilla
116°39'7.82"	32° 4'21.00"	Reservorio	El Porvenir	Finca la Carrodilla
116°39'13.31"	32° 4'50.64"	Reservorio	El Porvenir	Las Nubes
116°39'0.90"	32° 5'1.97"	Reservorio	El Porvenir	Rancho Trota Cielos
116°38'51.56"	32° 4'56.38"	Reservorio	El Porvenir	Rancho Trota Cielos
116°37'54.02"	32° 1'33.98"	Alberca	El Porvenir	Finca Koochaeye
116°37'34.65"	32° 1'47.86"	Reservorio	El Porvenir	Hotel Meson del Vino en Rancho Ramos
116°37'40.02"	32° 1'40.23"	Reservorio	El Porvenir	
116°37'38.77"	32° 2'7.57"	Reservorio	El Porvenir	
116°37'42.46"	32° 1'54.03"	Alberca	El Porvenir	Hacienda Magnolias
116°37'28.48"	32° 1'27.86"	Alberca	El Porvenir	Las Jacarandas
116°36'33.81"	32° 4'55.79"	Alberca	Francisco Zarco	
116°36'55.14"	32° 5'39.73"	Alberca	Francisco Zarco	
116°36'0.91"	32° 5'14.69"	Alberca	Francisco Zarco	Parque Jersey
116°33'59.71"	32° 5'53.43"	Alberca	Francisco Zarco	Balneario Las Palmas
116°35'28.06"	32° 3'44.59"	Alberca	Francisco Zarco	Rancho Maria Teresa
116°34'51.57"	32° 4'10.58"	Alberca	Francisco Zarco	Hacienda Guadalupe
116°36'0.84"	32° 3'46.41"	Alberca	Francisco Zarco	Parque La Joya
116°36'13.00"	32° 3'47.75"	Alberca	Francisco Zarco	
116°36'22.64"	32° 3'57.80"	Alberca	Francisco Zarco	
116°36'31.16"	32° 3'58.36"	Alberca	Francisco Zarco	Parque Infantil El Saguaro
116°33'26.50"	32° 2'50.59"	Alberca	Francisco Zarco	Rancho Casa Baloyan

LONG.	LAT.	CUERPO DE AGUA	LOCALIDAD	NEGOCIO
116°37'20.78"	32° 5'57.80"	Alberca	Francisco Zarco	Hotel Boutique Valle de Guadalupe
116°37'38.42"	32° 5'55.07"	Alberca	Francisco Zarco	Villa Corsua
116°37'22.12"	32° 5'10.74"	Alberca	Francisco Zarco	Adobe Guadalupe
116°35'15.98"	32° 5'39.47"	Humedal	Francisco Zarco	Monte Xanic
116°36'19.21"	32° 3'46.06"	Humedal	Francisco Zarco	Rancho Olivares
116°38'11.24"	32° 6'17.79"	Humedal	Francisco Zarco	Decantos o Vecino
116°35'50.90"	32° 4'29.15"	Reservorio	Francisco Zarco	
116°35'11.62"	32° 5'3.18"	Reservorio	Francisco Zarco	
116°35'2.32"	32° 3'58.41"	Reservorio	Francisco Zarco	
116°31'48.07"	32° 6'38.89"	Reservorio	Francisco Zarco	L. A. CETTO
116°32'28.67"	32° 7'25.24"	Reservorio	Francisco Zarco	Domecq
116°30'14.76"	32° 7'11.44"	Reservorio	Francisco Zarco	L. A. CETTO
116°30'16.04"	32° 7'14.37"	Reservorio	Francisco Zarco	L. A. CETTO
116°30'14.12"	32° 7'14.05"	Reservorio	Francisco Zarco	L. A. CETTO
116°26'23.27"	32° 8'38.37"	Reservorio	Francisco Zarco	
116°35'59.67"	32° 6'57.01"	Reservorio	Francisco Zarco	Viña de Franes
116°39'22.49"	31°58'4.00"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°39'30.99"	31°58'9.78"	Alberca	San Antonio de las Minas	Hotel Santa Cristina
116°38'57.39"	31°58'0.03"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°39'9.58"	31°58'1.27"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°38'50.18"	31°57'53.55"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°38'40.35"	31°57'51.06"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°38'31.40"	31°57'56.95"	Alberca	San Antonio de las Minas	Vinicola Tres Valles
116°38'29.75"	31°57'56.87"	Alberca	San Antonio de las Minas	Hotel Quinta Bugambilias
116°38'47.84"	31°58'7.00"	Alberca	San Antonio de las Minas	Quinta Arratz
116°39'12.33"	31°58'42.37"	Alberca	San Antonio de las Minas	Finca La Divina
116°39'3.27"	31°58'56.21"	Alberca	San Antonio de las Minas	Rancho El Sarape
116°38'48.12"	31°58'49.73"	Alberca	San Antonio de las Minas	Viña de Liceaga
116°38'29.85"	31°58'42.71"	Alberca	San Antonio de las Minas	

LONG.	LAT.	CUERPO DE AGUA	LOCALIDAD	NEGOCIO
116°38'21.12"	31°58'48.96"	Alberca	San Antonio de las Minas	La Toscana del Valle Viñedos
116°37'45.81"	31°57'59.47"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°37'50.68"	31°58'1.20"	Alberca	San Antonio de las Minas	Finca Cuellar
116°37'47.93"	31°58'37.53"	Alberca	San Antonio de las Minas	El Rincon del Valle
116°37'47.31"	31°58'50.12"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°37'26.02"	31°59'19.66"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°37'37.46"	31°59'41.16"	Alberca	San Antonio de las Minas	Cava Maciel
116°37'56.21"	31°59'17.83"	Alberca	San Antonio de las Minas	Ha´Che
116°37'57.07"	31°59'21.25"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°38'16.16"	31°59'34.90"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°40'21.11"	31°58'13.64"	Alberca	San Antonio de las Minas	
116°40'12.62"	31°59'58.43"	Alberca	San Antonio de las Minas	Alximia Vino Elemental
116°40'18.96"	31°59'27.51"	Humedal	San Antonio de las Minas	En'kanto
116°40'18.95"	32° 0'11.48"	Humedal	San Antonio de las Minas	Alximia Vino Elemental
116°38'42.45"	32° 0'39.48"	Humedal	San Antonio de las Minas	Vinos Xecue
116°38'46.55"	31°58'0.16"	Humedal	San Antonio de las Minas	Vinicola Vinisterra
116°40'25.95"	31°58'20.62"	Humedal	San Antonio de las Minas	
116°37'31.85"	32° 0'51.37"	Humedal	San Antonio de las Minas	Clos de Tres Cantos
116°37'47.43"	31°57'59.39"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'17.95"	31°58'23.42"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'51.43"	31°58'58.43"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'49.41"	31°59'5.44"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'13.63"	31°59'57.95"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°38'20.51"	31°59'36.66"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°40'5.20"	31°58'32.59"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°40'11.39"	31°58'43.43"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°40'54.53"	31°59'23.81"	Humedal	San Antonio de las Minas	Vinícola Relieve
116°42'3.42"	32° 0'36.38"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°40'35.85"	31°59'34.34"	Reservorio	San Antonio de las Minas	

LONG.	LAT.	CUERPO DE AGUA	LOCALIDAD	NEGOCIO
116°40'52.55"	31°59'59.31"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'52.33"	31°57'47.36"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'49.71"	31°57'48.82"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°38'31.92"	31°58'18.09"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°37'51.02"	31°57'58.21"	Reservorio	San Antonio de las Minas	
116°38'30.66"	31°58'41.23"	Reservorio	San Antonio de las Minas	

ANEXO 2. Catálogo de Vegetación del Caso de Estudio: Clòs de Tres Cantos

CATÁLOGO DE VEGETACIÓN

Clòs de Tres Cantos

Simbología de coloración de fondo.

Géneros y especies ordenadas por orden alfabético

Vegetación nativa	Vegetación naturalizada	Vegetación exótica	Vegetación recomendada
		No invasiva, ornamental	Terrestres de transición entre ambiente terrestre y acuático
		Invasiva, no deseada	Acuáticas

Simbología en la descripción de cada especie.

 Origen de la especie o distribución natural	 Descripción de flores y frutos
 Descripción vegetativa	 Preferencia lumínica
 Requerimientos para crecimiento óptimo	 Usos

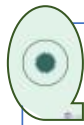
[Referencia en sitio web para mayor información y adquisición de imágenes](#)

Adenostoma Fasciculatum

Chamizo



Suroeste de América del Norte (California y México).



Exposición directa al sol



Arbusto de hojas perennes brillantes con aceites inflamables



Floración, Fructificación y dispersión en verano. Flores tubulares blancas de 5 mm de diámetro, pentámeras y de estambres largos.

- Frutos ovalados. La fruta seca es un aquenio.
- Propagación vegetativa o por semilla. La germinación requiere calor ya sea hornear las semillas a 212 F por 5 min o remojar en ácido sulfúrico al 10% por 5 min o quemar 1 pulg. de agujas de pino sobre las semillas.



Crece hasta 3 m. de altura. Favorece suelos con buen drenaje. No tolera encharcamientos



Control de erosión



<http://www.botanicayjardines.com/adenostoma-fasciculatum/>

Agave americana Maguey



Sur de Estados Unidos,
Norte y Centro de
México



Suculenta perene de
hojas armadas verdes,
blanco azulado a gris o
variegada



Suelos arenosos . Muy
tolerante a la sequía y
se encuentra en
regiones áridas y
semiáridas hasta los
2500 m de altura snm



Exposición directa al
sol



Floración ocurre solo
una vez al final del
ciclo de vida
(primavera-verano) y
produce gran cantidad
de semilla.

Propagación por
semilla, vegetativa por
hijuelos y/o rizoma.



Ornamental, elaborar
redes, medicinal y
bebidas alcohólicas:

- Mezcal
- Tequila
- Pulque



<https://agaveinarizona.wordpress.com/2014/03/30/agave-americana-flowers-and-pollinators/comment-page-1/>;
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/3851#todescription>

Algas filamentosas de agua dulce *Oedogonium*, *Cladophora*, *Pithophora*, *Rhizoclonium*, *Spirogyra* *sp.*, *etc.*



Encharcamientos, aguas someras de agua dulce



Exposición directa e indirecta al sol



Reproducción vegetativa, asexual por akinetes y sexual



Organismos unicelulares organizados en cadenas



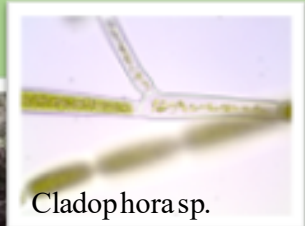
Colonias deshidratadas de *Oedogonium sp.* pueden prensarse como papel y también se ha encontrado que absorben metales pesados de la columna de agua.



Filamentos se encuentran visibles en la superficie de agua somera, en las orillas de encharcamientos y creciendo sobre estructuras flotando en el agua. Prefiere agua con pH alcalino.



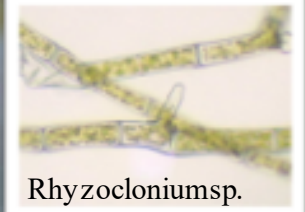
Oedogonium sp.



Cladophora sp.



Pithophora sp.



Rhizoclonium sp.



Spirogyra sp.

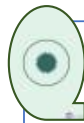
<https://aquaplant.tamu.edu/plant-identification/alphabetical-index/filamentous-algae/>;
www.protist.i.hosei.ac.jp; www.pondlakemanagement.com; www.aphotomarine.com

Amaranthus blitoides

Postrate pigweed, cenizo, sabia



América del Norte



Exposición directa al sol



Planta herbácea anual con hojas alternas, elípticas, sin dientes y glabras. Puede tener orillas ligeramente onduladas y blanquecinas. En su ápice se encuentra una extensión semejante a una espina.

Tallos son verdes, postrados, ascendentes y ramificados en todas las direcciones, puede alcanzar hasta 1 m de altura.



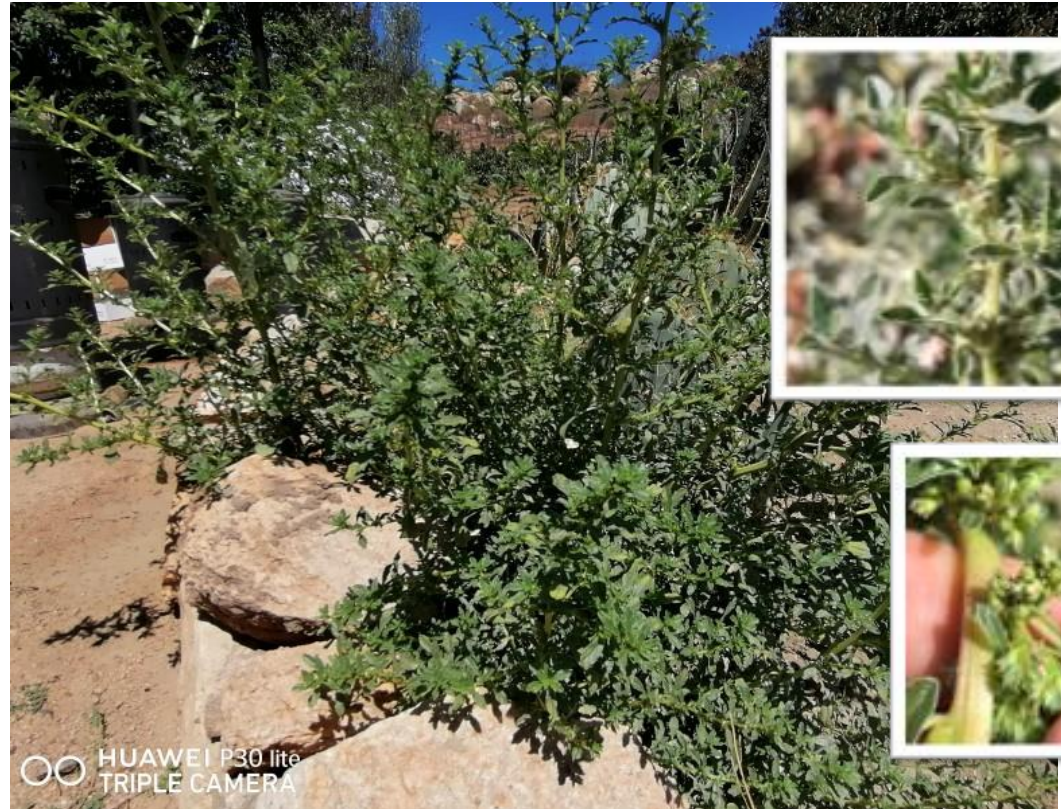
Flores unisexuales, pentámeras o tetrámeras (raramente trímeras); tépalos desiguales, con un solo nervio principal y bracteoladas. Pistilos con 2 o 3 estigmas. Frutos monospermos. Semillas negras y brillantes, comprimidas, de contorno circular u ovado.



Prefiere suelos francos con buen drenaje. No tolera las heladas ni los encharcamientos



Las semillas son comestibles de las cuales se elabora una harina.



<https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=27466> ;
<http://www.botanicajardines.com/amaranthus-blitoides/>

Anagallis arvensis ó *Lysimachia arvensis* Pimpinela escarlata



Cosmopolita



Exposición directa al sol



Planta herbácea anual glabra de tallos erectos o procumbentes (tiende a ser rastrera) de 2.5 a 70 cm de largo y raíces fibrosas.

Las hojas son opuestas, las superiores en veces tri o quadri - verticiladas, de 8 - 18 x 4 - 10 mm, ovadas a lanceoladas, no pecioladas.



Las flores, pentámeras, aparecen en las axilas de las hojas, tienen pedicelos de 3 a 35 mm de color rojo o rosa salmón. Floración ocurre de primavera a principios de otoño.



Crece en todo tipo de suelo. No tolera ser trasplantada ni suelos anegados.



Ornamental, medicinal e indicadora de suelos sueltos



<https://www.asturnatura.com/especie/anagallis-arvensis.html>; <https://www.cabi.org/isc/datasheet/5352>;
<https://www.gardenershq.com/Anagallis-Pimpernel.php>

Anemopsis californica

Hierba del Manso o Yerba Mansa



Nativa del suroeste de Norteamérica



Exposición directa al sol y sombra parcial



Hierba perene con rizoma rastrero y hojas ovaladas verdes que tornan púrpura



Su inflorescencia está formada por pétalos blancos o rojos con centro cónico. Las flores permanecen hasta que entran en dormancia en verano



Crece en suelos húmedos con infiltración media a baja. Puede tener comportamiento invasivo.



Ornamental, cobertura de suelo, medicinal



<https://agaveinarizona.wordpress.com/2014/03/30/agave-americana-flowers-and-pollinators/comment-page-1/>[https://calscape.org/Anemopsis-californica-\(Yerba-Mansa\)?srchcr=sc5edc0d5c7f9cb](https://calscape.org/Anemopsis-californica-(Yerba-Mansa)?srchcr=sc5edc0d5c7f9cb)

Bauhinia variegata

Falsa caoba, árbol orquídea



Sur y Sureste de Asia



Árbol mediano de hoja caducifolia que alcanza entre 10 y 12 m de altura. Hojas redondas, bilobuladas en la base y ápice de 10 a 20 cm de ancho y largo.



Prefiere suelos húmedos



Exposición directa al sol



Flores rosas o blancas de 8-12 cm de diámetro, con cinco pétalos. Florece al final del invierno o primavera temprana. El fruto es una vaina de 15-30 cm de largo, conteniendo varias semillas. Propagación vegetativa o semilla.



Ornamental



https://es.wikipedia.org/wiki/Bauhinia_variegata

Bromus sp. Bromo



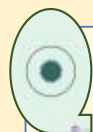
Nativa de Europa y naturalizada en Baja California



Pasto anual que puede llegar a medir 60 cm de altura. Hojas liguladas. Altamente flamable



Suelos francos con buen drenaje. Algunas especies pueden ser invasivas en hábitat de matorral costero



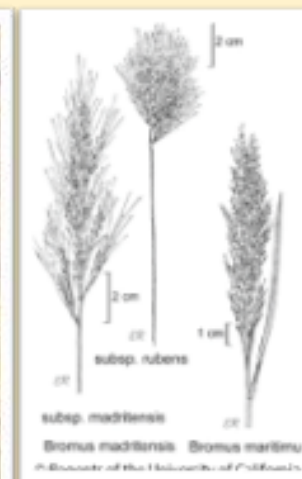
Exposición directa al sol



Las inflorescencias se presentan en panículas con 1-4 espiguillas. Las puntas de las espigas se tornan moradas cuando alcanzan la madurez.



Control de erosión. Algunas especies usadas por Tarahumaras para fermentar bebidas



<http://ucjeps.berkeley.edu/images/illustrations/f1435-04.png>

Calandrinia spectabilis

Rock purslane



Nativa de Chile



Planta suculenta de corta vida, tratada como anual por jardineros, de hojas lanceoladas y carnosas. Alcanza alturas entre 15 y 25 cm.



Se desarrolla en suelos gruesos o arenosos ligeramente ácidos. Muy tolerante a la sequía.



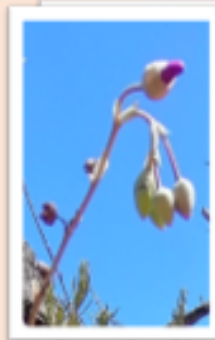
Exposición directa al sol



Flores pequeñas y en racimos color magenta. Florece en verano. Propagación vegetativa o por semilla. Las semillas se colocan en invierno después de la última helada. Tarda entre 7 y 15 días en germinar.



Ornamental. Cobertura de suelo



<https://www.gardenershq.com/Calandrinia-rock-purslane.php>

Carpobrotus chilensis

Deditos



Nativas de Australia y África



Exposición directa al sol



Suculenta rastrera con hojas carnosas y lanceoladas. Raíces en nodos y forma extensivos tapetes.



Flores grandes color púrpura semejante a las margaritas.



Climas mediterráneos, suelos arenosos o francos con buen drenaje. Invasiva en Baja California



Control de erosión en terracedo, cobertura de suelo, uso medicinal similar a la *Aloe vera*



<https://es.m.wikipedia.org/wikicarpobr>

Chenopodium murale

Cenizo, quelite del puerco, nettle-leaf goose foot



Nativa del mediterráneo occidental ampliamente naturalizada en México



Exposición directa al sol



Tiene los tallos estriados y angulosos, las hojas lobuladas y divididas; la planta a menudo toma colores rojizos.



Las florecillas se agrupan en glomérulos verdosos no muy largos y cada una lleva periantio de 5 piezas terminadas en una pequeña carena o excrecencia. La semilla está algo aplastada y posee un pequeño reborde o ala a todo su alrededor.



Prefiere suelos alcalinos y fértiles. Su raíz crecerá con vigor en soportes con textura arenosa, franca o arcillosa. Es tolerante a las sequías. Se encuentra en terrenos perturbados



Alimento para ganado



http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/chenopodium_murale/fichas/ficha.htm; <http://www.botanicayjardines.com/chenopodium-murale/>

Conyza canadensis;
Erigerum canadensis
Cola de caballo, Horseweed



Nativa de Norteamérica y América central



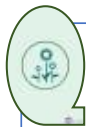
Exposición directa al sol



Hierba anual que puede llegar a medir 2.5 m de altura. Su tallo es erecto, acanalado y muy ramificado hacia el ápice con hojas lanceoladas y agudas.



Inflorescencia se encuentra agrupada en racimos de capítulos florales numerosos y hemisféricos formando una panícula compacta y alargada.



Prefiere climas templados y suelos con buen drenaje. Considerada maleza en agricultura



Medicinal, repelente de insectos, como vara para producir fuego de fricción.



http://florafinder.com/LargePhotos/DD/Conyza_canadensis -792B4C3DFD.jpg; www.plantasflores.net

Corethrogyne filaginifolia, *Lessingia filaginifolia* Del Mar Sand Aster



Nativa de California y Baja California



Exposición directa al sol



Hierba perenne que produce un simple tallo ramificado de aproximadamente 1 metro de altura. Es nativa de California y Baja California. Las hojas son densamente lanudas de varios centímetros de largo y dentados o lobulados bajo en el tallo y menor más arriba en el tallo.



La inflorescencia tiene una sola cabeza de flor o una matriz de varias cabezas en las puntas de las ramas del tallo de color púrpura, lavanda, rosa o blanco con centro amarillo. El fruto es un aquenio con pelos rojizos en la parte superior



Prefiere laderas rocosas. Comúnmente encontrada en hábitat de chaparral, matorral, bosques y praderas. Tolerante a las sequías.



Ornamental



https://en.wikipedia.org/wiki/Corethrogyne_filaginifolia

Croton setigerus

Dover weed



Nativa del oeste de Norteamérica



Hierba anual con hojas opacas verde azul de forma hexagonal. Superficie cubierta de finos pelos dando la sensación aterciopelada. Crece hasta 30 cm de alto.



Prefiere suelos alcalinos con buen drenaje. Tolerante a la sequía y sensible a la salinidad.



Exposición directa al sol



Flores pequeñas blancas atractivas para abejas y frutos consumidos por aves



Ornamental, cobertura de suelos. Americanos nativos usaban su toxina para pescar.



<https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=CRSE11>; https://en.wikipedia.org/wiki/Croton_setigerus

Cymbopogon citratus

Té de limón, lemongrass



Naturalmente distribuida en Asia y América del Sur



Exposición directa al sol



Las hojas son muy aromáticas y alargadas como listones, ásperas, de color verde claro que brotan desde el suelo formando matas densas.



Las flores están agrupadas en espigas y se ven dobladas al igual que las hojas



Prefiere climas cálidos, suelos arenosos o arcillosos con pH alcalino. Intolerante a las heladas y suelos salinos. Puede tener comportamiento invasivo



Ornamental, aceites esenciales, repelente de mosquitos, uso gastronómico y medicinal



https://es.wikipedia.org/wiki/Cymbopogon_citratus

Cyperus papyrus

Papiro



Cuenca del mar mediterráneo, ampliamente distribuida en Egipto



Exposición directa al sol



planta acuática constituida por un tallo de sección triangular que en su extremo superior porta un penacho de hojas delgadas en forma de destello de luces de bengala.



Las espigas son de color marrón y miden entre 10 y 30 cm de largo, están rodeadas de brácteas muy similares a las hojas. Se reproduce principalmente por rizomas y puede crecer hasta 5 m de altura



Prefiere suelos arenosos anegados, alcalinos y temperaturas cálidas



Elaborar los antiguos papiros manuscritos



Encelia farinosa

Incienso



Nativo del suroeste de California y noroeste de México



Exposición directa al sol



Arbusto aromático de hojas verde grisáceo de hasta 1.5 m de altura



Es la única especie con capítulos florales de color amarillo en varias ramas de tallos desnudos. Florece después de lluvias



Prefiere suelos pobres con buen drenaje. Tolerante a la sequía.



Incienso, goma de mascar y uso medicinal



https://es.wikipedia.org/wiki/Encelia_farinosa ; www.davesgarden.com

Equisetum fluviatile

Cola de caballo acuática o de pantano



Ampliamente distribuida en el hemisferio norte



Exposición indirecta al sol



Planta herbácea perene vascular que crece en densas colonias. Crece aproximadamente entre 30 y 100 cm de altura. Sus tallos huecos segmentados son entre 2 y 8 mm de ancho. Se reproduce vegetativamente por rizomas o por esporas



Las esporas se producen en los conos achatados en las puntas de los tallos



Prefiere climas templados, suelos lodosos con infiltración lenta. Tiende a ser invasiva y se recomienda mantenerla en macetas



Ornamental, medicinal, remoción de metales pesados



Eriodyctium californicum

Yerba santa



Nativo de California y Oregón



Arbusto perene que alcanza un tamaño de 1 a 3 m de altura. Hojas lanceoladas cubiertas de resina aromática y miden hasta 15 cm de longitud.



Prefiere suelos ligeros arenosos con buena infiltración



Exposición directa al sol



La inflorescencia es un racimo de flores hermafroditas en forma de campana de color blanco a violáceas, cada una de entre uno y dos centímetros de longitud. Adaptada al fuego. Propagación por rizomas y semillas. Las semillas deben de germinar en invernadero.



Medicinal y de restauración vegetativa



<https://pfaf.org/User/Plant.aspx?LatinName=Eriodictyon+californicum> ;
<https://sheffields.com/seeds-for-sale/Eriodictyon/californicum/>

Eriogonum fasciculatum

Flor de borrego



Nativa del Suroeste de California y Noroeste de México



Arbusto que llega a medir cerca de 2 m de altura y 3 m de ancho. Se encuentra en diversos hábitats como chaparral, matorral costero, matorral de creosota, bosque de piñón y junípero y pastizales.

Las hojas crecen en agrupaciones en el nodo.



Prefiere crecer en laderas y arroyos secos



Exposición directa al sol



Flores pequeñas de hasta 15 cm de ancho agrupadas en grupos densos dando la apariencia aborregada. Cada flor es de color rosa y blanco.



Ornamental, medicinal y en algunos grupos indígenas de consumo alimenticio



<https://calscape.org/Eriogonum-fasciculatum-%28California-Buckwheat%29;>
<https://www.naturalista.mx/taxa/54999-Eriogonum-fasciculatum>

Eucalyptus sp.

Eucalipto



Nativo de Oceanía



Árbol perene de porte recto. Pueden llegar a medir más de 60 m de altura. En algunos ejemplares la corteza exterior (ritidoma) es marrón claro con aspecto de piel y se desprende a tiras dejando manchas grises o parduscas sobre la corteza interior, más lisa.

Las hojas jóvenes de los eucaliptos son sésiles, ovaladas, grisáceas y de forma falciforme. Estas se alargan y se tornan de un color verde azulado brillante de adultas; contienen un aceite esencial, de característico olor balsámico.



Prefiere suelos con alta infiltración y no tolera las heladas. Flamables y adaptados al fuego. Invasivo.



Exposición directa al sol



Floración se presenta en aglomeraciones de flores pequeños con estambres largos en colores blanco y amarillo. Las semillas son cilíndricas de aproximadamente 1 mm de longitud y se encuentran encapsadas en un pequeño cono amaderado.



Medicinal, ornamental, aceites esenciales, madera y producción de miel



<http://www.bioenciclopedia.com/eucalipto>

Ferrocactus sp.

Biznaga



Nativa de California, Arizona y Norte de México



Exposición directa al sol



Cactácea desértica de cuerpo cilíndrico con múltiples espinas largas de cada vértice y posee raíces poco profundas. Crece de 1 a 3 cm anuales entre 300 y 1600 m sobre el nivel del mar.



Flores de color amarillo, naranja o púrpura. Florecimiento en primavera. Frutos ovalados de color amarillo comestibles. Tras floración y durante fructificación se recomienda limpiar las secreciones para evitar enfermedad. Propagación por hijuelos o semilla.



Prefiere climas cálidos con suelos arenosos y calcáreos. Riego escaso y fertilización en primavera y verano.



Utilizados para hacer dulces mexicanos y remedios medicinales. Frutos se cosechan en otoño.



<https://www.lifeder.com/ferocactus/>; http://www.ecured.cu/index.php/Ferocactus_wislizeni

Isocoma menziesii

Menzies' Goldenbush



Nativo de California y Baja California



Exposición directa al sol



Arbusto enmarañado que llega a alcanzar alturas en entre 1 y 2 metros. Tallos erectos que pueden ser glabros o peludos Las hojas son ovaladas a rectangulares, de color gris-verde con bordes dentados



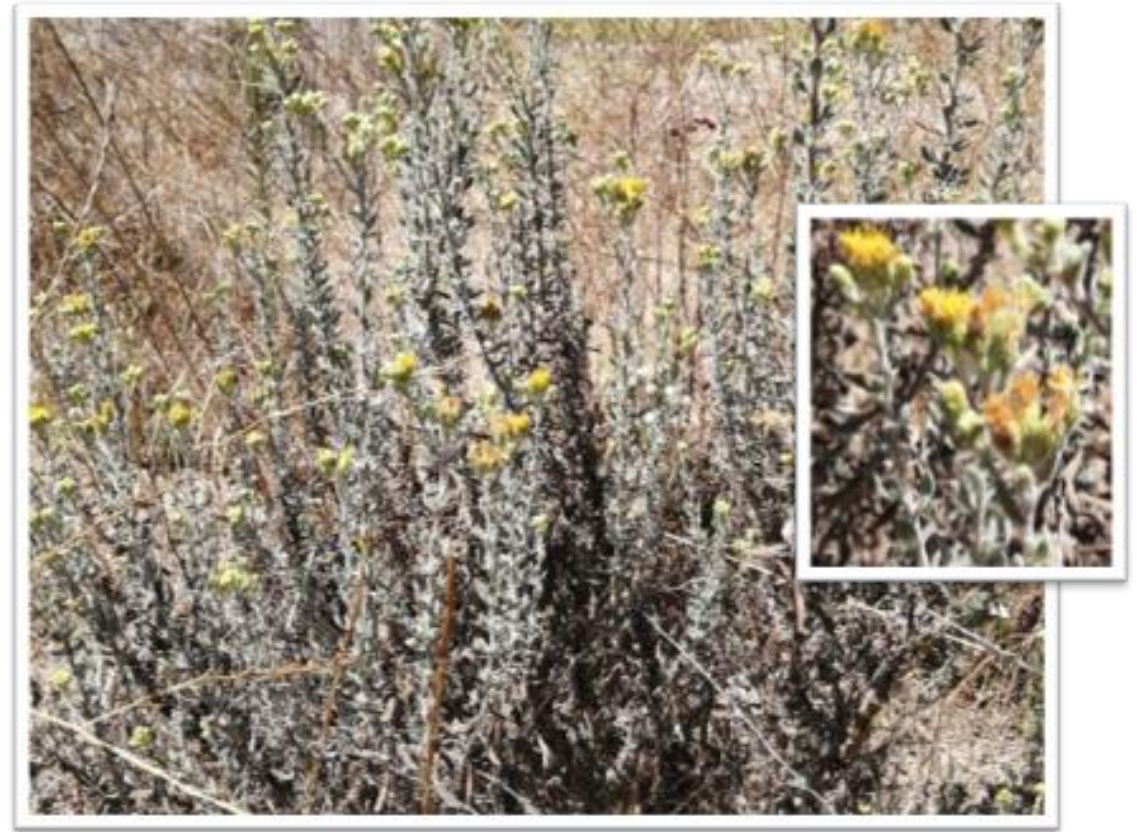
Las inflorescencias se presentan en racimos de gruesas cabezas de flores color amarillo. Propagación por semilla.



Prefiere suelos arenosos con buena infiltración. Tolerante a la sequía.



Ornamental y restauración de hábitat



https://es.m.wikipedia.org/wiki/Isocoma_menziesii

Juncus effusus

Junco común; common rush;
soft rush



Cosmopolita



Sus tallos son brillantes, lisos, verde brillante, de hasta 4 mm de diámetro. Las hojas, son unas simples "vainas" que circundan el tallo en la parte inferior.



Prefiere suelos encharcados ricos en humus, infiltración lenta y pH alcalino. Puede tener comportamiento invasivo. Otras especies de junco encontradas en Baja California que se recomienda tener es *Juncus bufonius* y *Juncus acutus*



Exposición indirecta al sol o sombra parcial



Las flores, agrupadas en varios racimos que surgen de un mismo punto, aparecen desde finales de primavera y en verano, en la mayoría de los tallos



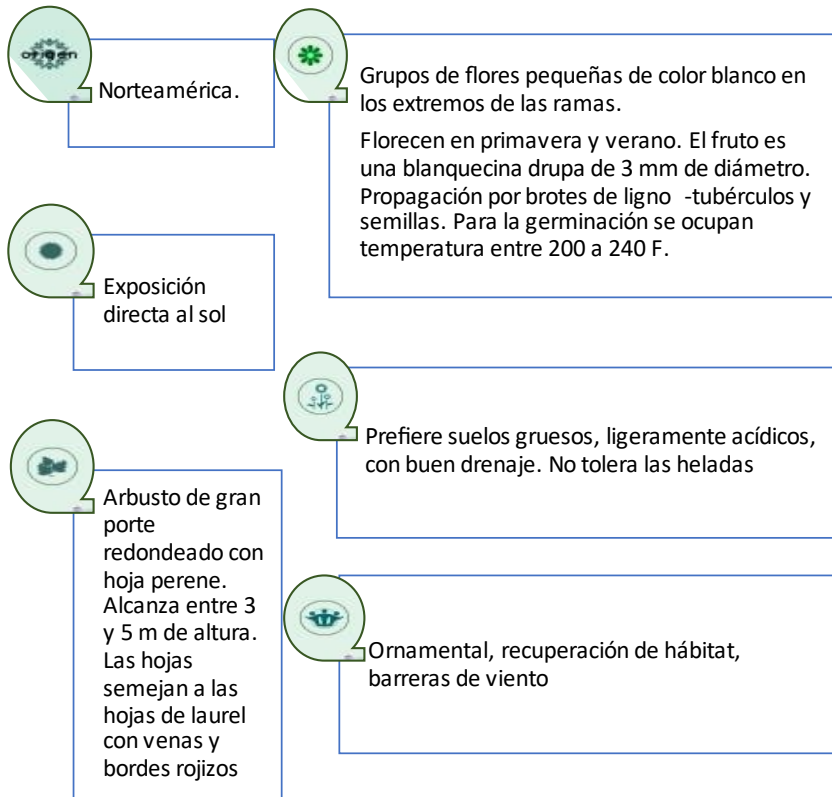
Ornamental



https://es.wikipedia.org/wiki/Juncus_effusus ; [http://www.nwvisualplantid.com/rush-soft-common-r-juncus-effusus/https://calscape.org/Juncus-effusus-\(Soft-Rush\)?srchcr=sc5edc07448745a](http://www.nwvisualplantid.com/rush-soft-common-r-juncus-effusus/https://calscape.org/Juncus-effusus-(Soft-Rush)?srchcr=sc5edc07448745a)

Malosma laurina

Lentisco



<https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/mallau/all.htm>; <https://www.naturalista.mx/taxa/64122-Malosma-laurina>

Mentha sp.

Menta, hierbabuena



Cosmopolita



Exposición indirecta al sol.



Planta herbácea, perene, aromática que puede crecer hasta 120 cm de altura. Las hojas son lanceoladas y dentadas



flores púrpuras o blancas. El fruto es una cápsula con hasta cuatro semillas



Prefieren suelos húmedos y lodosos. Tolerante a ser sumergida en temporadas de lluvia



Ornamental, medicinal y gastronómico



Mimosa sp. Uña de gato



Norteamérica



Arbusto deciduo de hojas compuestas tolerante a la sequía de brazos abiertos que puede medir hasta 3 m de altura. Presenta espinas recurvas en sus tallos semejantes a las uñas de gato



No requiere cuidados especiales para su cultivo y puede crecer en suelos pobres pero bien drenados y al resguardo del viento



Exposición directa al sol



Su floración se produce en invierno, siendo estas flores de pelusa de color amarillo o rosa y en forma de tubo



Ornamental



<https://www.naturalista.mx/taxa/208816-Mimosa-distachya>

Nicotiana glauca

Cornetón, tabaquillo



Argentina y sur de Bolivia.
Naturalizada en el suroeste
de Estados Unidos y
México



Hojas y tallos glabros que
crece hasta 5 m de altura.
Sus hojas son lanceoladas
de 5 a 16 cm de largo de
color verde -azul



Prefiere suelos con buen
drenaje. Se encuentra en
suelos perturbados.
Tolerante a la sequía



Exposición directa al sol



Flores amarillas en forma
de corneta son de 3 a 4 cm
de largo. Florece todo el
año. Su fruto es una
capsula ovalada de 10 a 15
mm de largo que
desprende numerosas
semillas color café rojizo



Repele insectos y es
considerada toxica o
venenosa. Sus hojas
contienen anabsina la cual
se ha usado en ungüentos
para aliviar dolor causada
por artritis reumatoide



https://es.wikipedia.org/wiki/Nicotiana_glauca

Olea europaea

Olivo



Región mediterránea de Europa



Exposición directa al sol



Árbol perene que puede alcanzar hasta 15 m de altura, con copa ancha y tronco grueso, de aspecto retorcido. Hojas opuestas de 2 a 8 cm de largo, lanceoladas con el ápice ligeramente puntiagudo. Hojas glabras y de color verde-gris oscuro por el haz, más pálidas por el envés



Flores axilares multifloras de color blanco. Floración ocurre entre mayo y junio. El fruto (aceituna) es una drupa suculta muy oleosa. El fruto es morado oscuro en su plena madurez. Fructificación ocurre entre septiembre y diciembre. Propagación vegetativa (estaca, acodo u óvulo) para cultivo se prefiere ya que por semilla es problemático



Vive en todo tipo de suelo. Sensible a las heladas. Prefiere la compañía de lentisco y encino



Gastronómico, ornamental, barrera de viento



https://es.wikipedia.org/wiki/Olea_europaea

Opuntia littoralis

Nopal



Norteamérica



Cactácea que crece en expansión alcanzando un tamaño entre 30 y 60 cm de ancho y 1 m de alto. El tallo tiene secciones glauco-verde, ovadas a elípticas de 7 a 30 cm de largo y 5 a 10 cm de ancho. Las espinas de color ocre amarillo o marrón de hasta 4,5 mm de largo. Tiene hasta once espinas rectas a curvas, marrón, gris o amarillas presentes, rara vez ausentes



Prefiere suelos arenosos. Muy tolerante a la sequía



Exposición directa al sol



Las flores son de color amarillo con una base de color rojo o magenta o rosa púrpura. Alcanzan una longitud de 5 a 7.5 cm. El fruto de color rojo a rojo-púrpura es carnoso de hasta 4 cm de largo y un diámetro 2.5 a 3.8 cm



Ornamental



https://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia_littoralis ; www.plantrails.com

Oxalis pes-caprae

Trébol



Cosmopolita



Especie ruderal, exótica invasiva, herbácea y perene. Hoja trifoliar con o sin manchas en ambas caras. Rizomas con raicillas laterales.



Prefiere suelos francos o arenosos. No tolera los encharcamientos. Crece en cultivos (olivares, almendrales, cítricos, etc.) en suelos removidos, algo húmedos hasta los 800 m snm



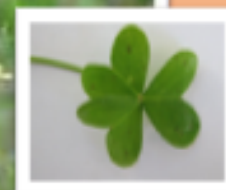
Exposición indirecta al sol



Flores pequeñas amarillo dorado de 5 pétalos. Florece desde septiembre hasta mayo. Reproducción vegetativa y por semilla



No conocidos



https://es.wikipedia.org/wiki/Oxalis_pes-caprae

Pennisetum setaceum

Pasto africano; fountain grass



África, medio oriente y sudeste de Asia



Exposición directa al sol



Hojas angostas y arqueadas de 0.2 a 0.4 cm de ancho y 0.6m de altura. La superficie de la hoja es glabra con presencia de orillas con pelos blancos y finos



Flores y semillas crecen en cilindros densos de 8 a 35 cm de largo sobre tallos que pueden crecer a alcanzar 1.2m de altura. Produce semilla después de un año después de germinar. Las semillas germinan en primavera tardía o verano



Prefiere suelos arcillosos o arenosos con buen drenaje. Puede vivir hasta 20 años. Puede tener comportamiento invasivo



Ornamental



<https://www.cabi.org/isc/datasheet/116202>

Plumbago auriculata

Jazmín azul



Sudáfrica



Exposición directa al sol
con sombra parcial



Arbusto trepador perenne
con hojas obtusas y
espatuladas; recubiertas
por la cara inferior de
escamas blanquecinas, al
igual que el resto de los
tallos, que son de tipo
leñoso y sarmentoso.



Las flores de color azul
cielo de forma cilíndrica
miden unos 2,5
centímetros y se abren en
cinco pétalos, que nacen
de racimos terminales de
15 centímetros de ancho.
Florece la mayor parte del
año. Propagación
vegetativa por estacas o
semilla.
Época de siembra:
invierno y primavera.
Germina en 7 -10 días a
22-23°C



Prefieren suelos ligeros y
arenosos con buen
drenaje. Una vez
establecidas pueden
tolerar riego escaso. No
tolera las heladas



Ornamental



<https://www.todohusqvama.com/blog/plumbago/>; <https://www.tradeindia.com/fp1310483/Chitraka-Plumbago-Zeylanica-.html>

Quercus agrifolia

Encino, coastal live oak



California y norte de México



Exposición directa al sol



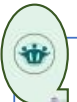
Árbol perene con raíces profundas de hasta 11 m. Las hojas son pequeñas similares al holly (acebo). Sus coronas son amplias e irregulares con brazos que comúnmente tocan el piso.



Floración es en primavera. Flores masculinas es un amento. La flor femenina es discreta. El fruto son las bellotas que tardan de 1 a 2 años en madurar. Las semillas germinan en suelos secos con buena infiltración. No ocupan estratificación y tardan entre 15 y 50 días después de caer



Prefiere suelos con buen drenaje en las laderas de los cerros y mesas costeros, frecuentemente cerca de arroyos anuales o permanentes



Ornamental, madera, carbón, la bellota es comestible, cualidades místicas, estabilización de bancos y atractivo de aves y mariposas



<https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/queagr/all.html>

Salsola tragus

Cardo ruso, barrilla tumbleweed



Euroasiático



Exposición directa al sol



Planta anual muy ramificada desde la base. Las ramas se curvan hacia el tallo, dándole un aspecto globoso. Las hojas son cilíndricas, algo más grandes en la base, alternas con un ápice espinoso.



Las flores son solitarias y miden entre 5 y 9 mm y florece entre julio y septiembre



Prefiere suelos salados, lotes baldíos, ranchos y planicies



De las cenizas se puede extraer sosa



Salvia rosmarinus o *Rosmarinus officinalis* Romero



Mediterráneo europeo
y oeste de Asia



Arbusto aromático,
leñoso, de
hojas perennes en forma
de agujas muy
ramificado y
ocasionalmente
achaparrado que puede
llegar a medir 2 m de
altura.



Prefiere suelos secos,
pobres, arenosos y
permeables. No tolera
suelos muy húmedos.



Exposición directa al sol



Florece dos veces al
año en primavera y en
otoño. Pequeñas flores
axilares de color azul
violeta pálido, rosa o
blanco. Tienen la
corola bilabiada de una
sola pieza. Propagación
vegetativa o por semilla
después de la última
helada. Germinación
tarda 3 semanas a
temperaturas de 70 F.



Ornamental,
gastronómico,
medicinal, aceites
esenciales.



<https://www.gardenershq.com/Rosmarinus-Rosemary.php>; https://es.wikipedia.org/wiki/Rosmarinus_officinalis

Sisymbrium officinale

Erísimo, encendecandiles.



China, norte de África, oeste de Asia y B
Norteamérica



Planta ruderal bienal parecida a la mostaza. Las hojas de la base son pinnadas con grandes lóbulos y márgenes dentados, las hojas superiores más pequeñas y menos lobadas.



Prefiere suelos húmedos arenosos, francos o arcillosos



Exposición indirecta al sol



Flores son pequeñas, amarillas y hermafroditas en racimos terminales. Se esparce por semilla y es considerada invasiva. Los frutos son vainas erectas adosadas al tallo que contienen semillas de color amarillo y sabor áspero.



Medicinal



<http://www.botanicayjardines.com/sisymbrium-officinale/>

Tamarix ramosissima

Pino salado, Salt-cedar



Europa y Asia



Exposición directa al sol



Árbol pequeño y robusto
caducifolio de tallos
rojizos y hojas plumosas



Produce racimos de flores
pequeñas color rosa de 5
pétalos que florecen al
término de verano hasta
principio de otoño.



Prefiere suelos arenosos,
pobres con buen drenaje.
Considerada invasiva en
zonas áridas por consumir
grandes cantidades de
agua subterránea



Ornamental



Typha latifolia y *T. dominguensis*

Tule



Norte y Sur de América, Europa y África



Exposición directa al sol y sombra parcial



Planta herbácea emergente de ambiente acuático. Crece entre 1.5 y 3 metros de altura con hojas glabras y lanceoladas de 2 a 4 cm de ancho



Espigas cilíndrica de color marrón en el extremo superior del tallo. *T. dominguensis* se diferencia de *T. latifolia* por no tener un eje desnudo entre la inflorescencia masculina y la femenina. Los frutos son semejantes a nueces de 1,5 mm de largo. Las semillas se transportan por viento o agua.



Habita en diferentes climas incluyendo templado, tropical, costeros y secos continentales a elevaciones no mayores a 2300 metros. Prefiere suelos anegados con agua dulce donde la columna de agua no excede el metro de profundidad. Tolerante a la salinidad



Los rizomas, el polen y las hojas tiernas de la base son comestibles. Depurar el agua de contaminantes incluyendo metales pesados



<https://es.wikipedia.org>