SEMARNAT

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E INGENIERÍA DE RÍOS
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
GERENCIA DE CALIDAD DEL AGUA

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

LINEAMIENTOS PARA LA DELIMITACIÓN HIDROLÓGICA Y ESTABLECER EL PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE LOS HUMEDALES

NOVIEMBRE de 2013

Control de revisiones

Revisión	Fecha Revisión	Consideración del cambio en el documento
01	26 de noviembre de 2013	Documento de nueva creación para dar cumplimiento al Artículo 86 Bis 1 fracciones I y IV de la Ley de Aguas Nacionales y 155 fracciones I y IV de su Reglamento.

1. Introducción **4**

2. Objetivo **4**

3. Alcance **5**

4. Glosario **5**

5. Fundamento legal **6**

6. Disposiciones generales **7**

7. Lineamientos técnicos **7**

8. Diagrama de flujo **8**

9. Descripción del diagrama **11**

10. Aspectos cartográficos **20**

11. Lineamientos para la Delimitación de Humedales continentales en el aspecto de hidrología superficial **21**

12. Aspectos hidrogeológicos **25**

13. Zona de protección de los humedales abastecidos únicamente por aguas superficiales. **26**

13.1 Las dimensiones de los perímetros de protección en caso de alimentación subterránea 28

13.1.1 Características a considerar en campo. *29*

13.1.2 Criterios a considerar para emplear solamente aspectos florísticos en la delimitación del perímetro de protección del humedal. *30*

14. Acrónimos **30**

15. Bibliografía **31**

16. Transitorios **32**

I. Criterio hidrológico del humedal **33**

II. Criterio edafológico del humedal **36**

III. Criterio botánico del humedal **46**

1. Introducción

De conformidad con el Artículo 86 BIS-1, fracciones I y IV y Art. 87 fracción I, de la Ley de Aguas Nacionales, la Comisión Nacional del Agua, apoyada por los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, de acuerdo con los Artículos 4 fracciones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Artículo 73 fracción XXXVI, Artículo 523 fracción VIII, 78 fracción IV y 155 fracciones I a V,del Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre de 2006 y su Decreto de reforma publicado el 12 de octubre de 2012 y Artículo 2 del Acuerdo por el que se Delegan Atribuciones a las Unidades Administrativas de la Comisión Nacional del Agua, del 3 de octubre de 2007, tiene la atribución de delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquellos inundados por aguas nacionales.

Los humedales son alimentados por aguas superficiales y subterráneas, por lo que las Gerencias de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Aguas Subterráneas y Calidad del Agua, orientan con sus estudios técnicos, sobre el origen y funcionamiento de los humedales estando en posibilidad de delimitarlos con criterios hidrológicos y mayor grado de precisión.

En este sentido, los lineamientos que se emiten, permitirán a la Conagua, a través de sus Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, realizar la delimitación hidrológica del humedal y establecer un entorno natural o perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar sus condiciones hidrológicas, la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema, dando respuesta al mandato de Ley de Aguas Nacionales, que en su artículo 86 Bis I fracc. 1 dice: "*Delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquellos inundados por aguas nacionales*".

2. Objetivo

Establecer los criterios generales a seguir para la delimitación hidrológica de los humedales y sus bienes inherentes sustentados por aguas nacionales y establecer su perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar sus condiciones hidrológicas y ecosistémicas.

3. Alcance

La delimitación hidrológica del humedal y su perímetro de protección, estarán a cargo de la Conagua a través de sus Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, con las excepciones que derivan de lo dispuesto en la fracción IX del artículo 9 de la Ley de Aguas Nacionales.

Los presentes lineamientos técnicos se elaboraron con el objeto de establecer criterios de selección de terrenos que deben protegerse por cumplir con la definición descrita de humedal, en la Ley de Aguas Nacionales.

4. Glosario

Para los propósitos de los presentes lineamientos, aplican los términos y definiciones contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en la Norma Mexicana NMX-AA-159_SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Adicionalmente se establecen las siguientes:

I. **Hidrogeología:** Estudia el origen, localización, almacenamiento, circulación, distribución y cuantificación de las aguas del subsuelo, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

II. **Vegetación hidrófila:** Se constituye por comunidades de vegetales predominantemente acuáticas y subacuáticas que viven en lugares pantanosos e inundables de aguas dulces o salobres poco profundas. Incluye diversos tipos de vegetación: popal, tular, carrizal, marismas, manglar, selvas y bosques inundables y ribereños, vegetación herbácea flotante y sumergida.

III. **Especies indicadoras de humedales.** Se consideran aquellas especies que requieren de inundación permanente o temporal para completar su ciclo de vida.

IV. **Delimitación del humedal:** son aquellos trabajos y estudios topográficos, batimétricos, fotogramétricos, hidrológicos e hidráulicos necesarios para la determinación de los límites del humedal.

V. **Vegetación hidrófita:** son aquellas plantas que normalmente crecen en humedales, es decir sumergidas o inundadas o en donde los suelos están inundados o saturados suficiente tiempo para producir condiciones anóxicas a nivel de las raíces, y que por tanto han desarrollado adaptaciones para lidiar con la carencia de oxígeno (Cronk y Fenessy 2001).

VI. **Suelos hidromórficos:** son aquellos que están saturados con agua (o que lo han estado) de manera recurrente por tener una capa freática fluctuante el tiempo suficiente para desarrollar condiciones anaeróbicas en las capas superiores y muestran indicios evidentes de proceso de reducción.

5. Fundamento legal

La Ley de Aguas Nacionales, en el Artículo 86 BIS 1 fracciones I, II, III, IV y V establece las atribuciones para delimitar, clasificar, preservar, restaurar o rehabilitar los humedales del país, la integración de su inventario, el establecimiento de reservas de aguas nacionales y/o ecológicas, y la formulación de propuestas de manejo a través de Normas Oficiales Mexicanas.

La delimitación de los humedales se fundamenta en el Artículo 86 fracción I, de la Ley de Aguas Nacionales; Artículo 4 fracciones I a VIII y Artículo 5, 23 fracción VIII, 78 fracción IV y 155 fracciones I a V, del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

Rigen también los artículos 52 fracciones IV y VI, 57 fracciones I, V, IX y XI, 73 fracción XXXVI del Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre de 2006, su decreto de reforma publicado el 12 de octubre del 2012, y el Artículo 2 del Acuerdo por el que se delegan atribuciones a las unidades administrativas que en el mismo se indican, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de octubre de 2007.

6. Disposiciones generales

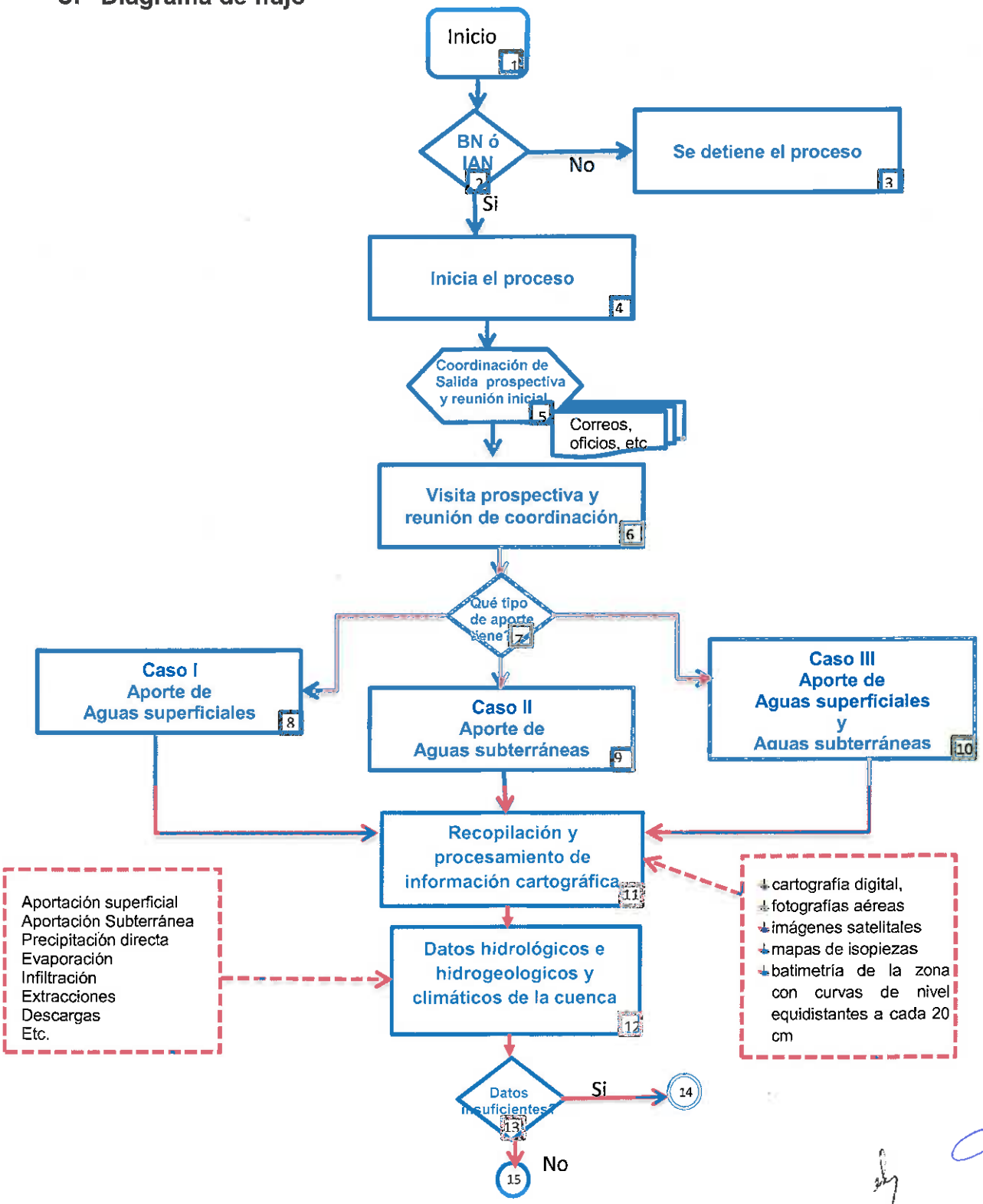
Para la delimitación del humedal y su perímetro de protección, se aplicarán los lineamientos técnicos que establece el presente documento y quedará sujeta a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento y demás disposiciones aplicables.

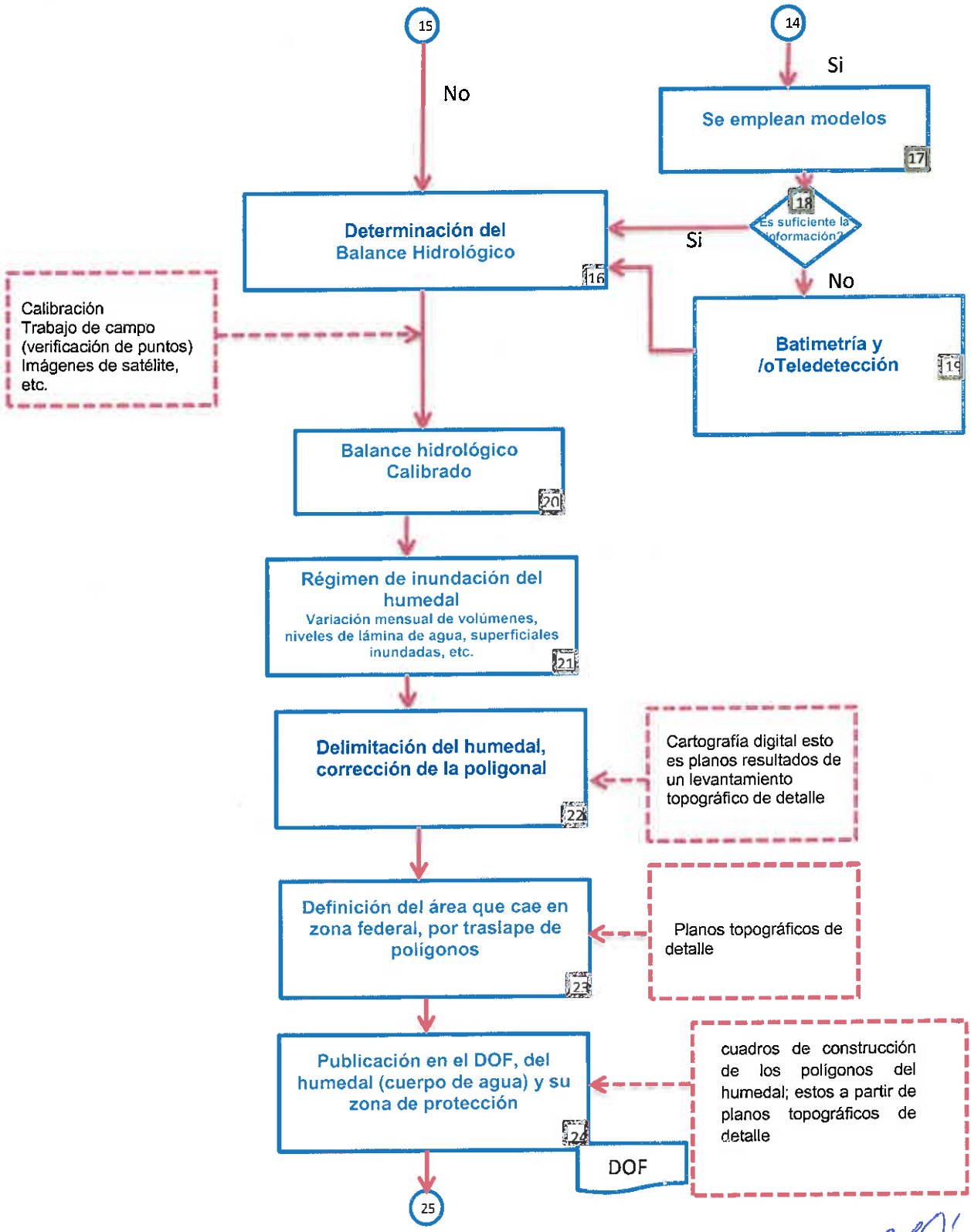
7. Lineamientos técnicos

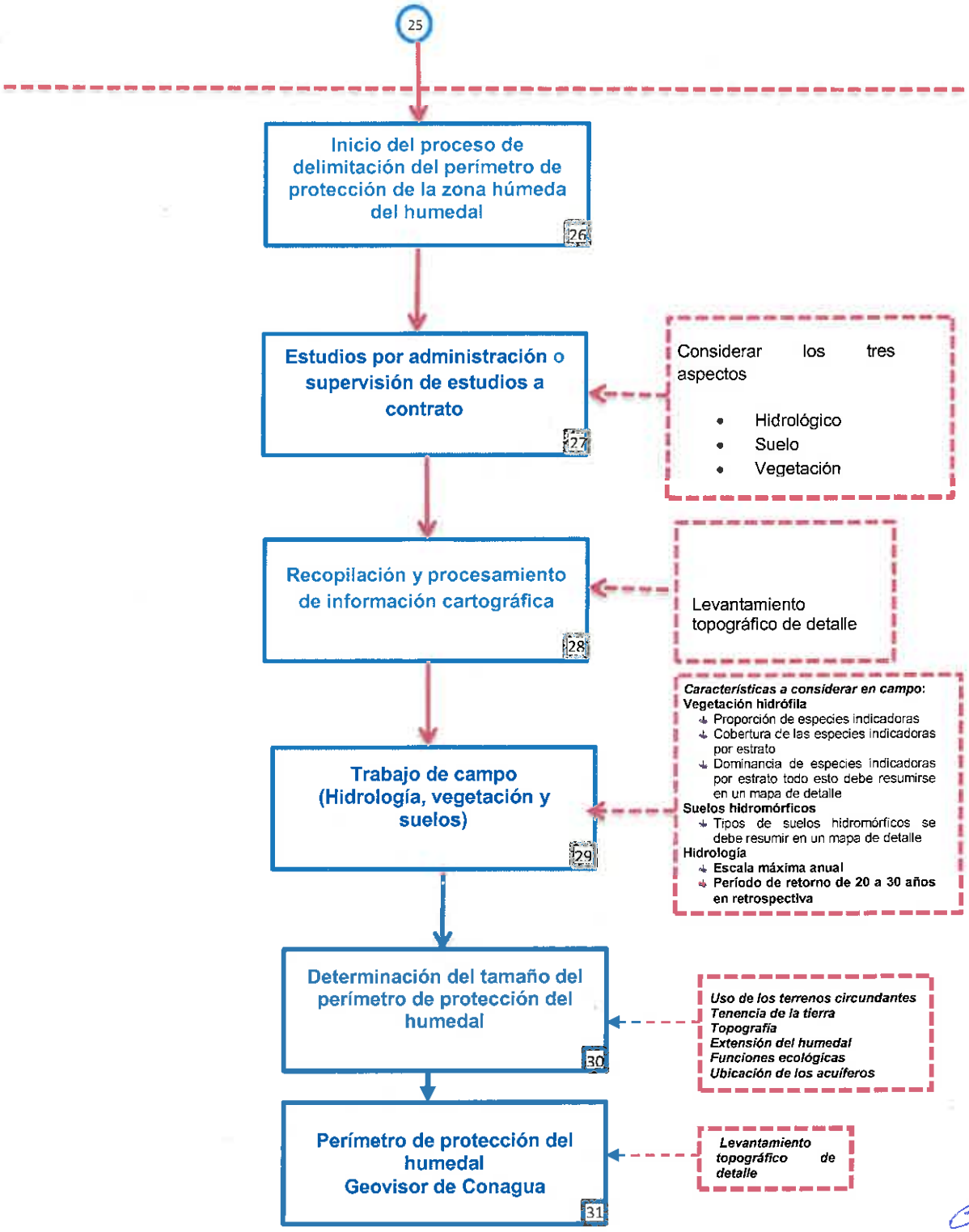
Para delimitar hidrológicamente los humedales y establecer su perímetro de protección, se toman tres criterios básicos: **hidrológicos, botánicos y edafológicos**. Estos tres criterios básicos son obligatorios y se deben cumplir para que un área sea considerada como un humedal.

La metodología para la delimitación hidrológica de los humedales propone un proceso sistemático de levantamiento, almacenamiento y procesamiento de información geográfica disponible o que se deba generar para el presente propósito.

8. Diagrama de flujo




15
14
No
Si
Se emplean modelos
17
18
Es suficiente la información?
Determinación del Balance Hidrológico
16
Si
No
Calibración
Trabajo de campo
(verificación de puntos)
Imágenes de satélite,
etc.
Batimetría y /oTeledetección
19
Balance hidrológico Calibrado
20
Régimen de inundación del humedal
Variación mensual de volúmenes, niveles de lámina de agua, superficiales inundadas, etc.
21
Delimitación del humedal, corrección de la poligonal
22
Cartografía digital esto es planos resultados de un levantamiento topográfico de detalle
Definición del área que cae en zona federal, por traslape de polígonos
23
Planos topográficos de detalle
Publicación en el DOF, del humedal (cuerpo de agua) y su zona de protección
24
DOF
cuadros de construcción de los polígonos del humedal; estos a partir de planos topográficos de detalle
25


25
Inicio del proceso de delimitación del perímetro de protección de la zona húmeda del humedal
26
Estudios por administración o supervisión de estudios a contrato
27
Considerar los tres aspectos
• Hidrológico
• Suelo
• Vegetación
Recopilación y procesamiento de información cartográfica
28
Levantamiento topográfico de detalle
Trabajo de campo (Hidrología, vegetación y suelos)
29
Características a considerar en campo:
Vegetación hidrófila
Proporción de especies indicadoras
Cobertura de las especies indicadoras por estrato
Dominancia de especies indicadoras por estrato todo esto debe resumirse en un mapa de detalle
Suelos hidromórficos
Tipos de suelos hidromórficos se debe resumir en un mapa de detalle
Hidrología
Escala máxima anual
Período de retorno de 20 a 30 años en retrospectiva
Determinación del tamaño del perímetro de protección del humedal
30
Uso de los terrenos circundantes
Tenencia de la tierra
Topografía
Extensión del humedal
Funciones ecológicas
Ubicación de los acuíferos
Perímetro de protección del humedal Geovisor de Conagua
31
Levantamiento topográfico de detalle

9. Descripción del diagrama

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
1	Se inicia el proceso de delimitación hidrológica de un humedal por solicitud oficial, por programación anual obtenida de la priorización de los humedales o por instrucción.	Un Oficio, memorando, correo electrónico o nota, que constate el inicio del proceso. Recopilación de toda la información cartográfica disponible
2	**Decisión** Revisar si el humedal se encuentra en un Bien Nacional o es inundado por aguas nacionales y si cumple con las características de un humedal de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (agua, suelo y vegetación).	Verificar si el cuerpo de agua cumple con las características para ser considerado como propiedad de la nación.
3	No, se detiene el proceso y se informa.	Un Oficio, memorando, correo electrónico o nota, que constate que el humedal no se encuentra en un Bien Nacional o no es inundado por aguas nacionales
4	Sí se encuentra en un Bien Nacional o es inundado por aguas nacionales, entonces inicia el proceso	
5	Coordinación de salida prospectiva y reunión inicial El Organismo de Cuenca (OC) y/o Dirección Local (DL) coordina salida prospectiva y reunión inicial, si considera necesario solicitar la presencia del personal de: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Gerencia de Aguas Subterráneas, Gerencia de Calidad del Agua.	Oficios de invitación, memorándums y/o correos electrónicos.

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
5	Por parte del Organismo de Cuenca y/o Dirección Local, las áreas que deberán estar presentes son: Aguas superficiales e ingeniería de ríos, aguas subterráneas, calidad del agua y consejos de cuenca. El Organismo de Cuenca (OC) y/o Dirección Local (DL) realizará las siguientes actividades: Generar oficios de invitación a: SEMARNAT, Gobierno del Estado, Municipio, instituciones educativas y ONGs interesadas en la delimitación del humedal. Gestionar un sobre vuelo al humedal y conciliar con las otras instituciones los vehículos necesarios para el recorrido al humedal. Generar el orden del día, lista de asistencia y formato de minuta. Designar el sitio físico de la reunión técnica y la ruta del recorrido tanto terrestre como aéreo. Preparar una presentación que muestre características generales y problemática de la zona	
6	Visita prospectiva y reunión de coordinación. Reunión inicial, el OC y/o DL plantea el objetivo del proceso, expone una presentación de las condiciones biofísicas de la zona del humedal, aspectos geográficos, ubicación, hidrología, geohidrología y problemática ambiental, social e hidrológica. Expone la logística de la salida prospectiva, quien vuela, la hora y lugar, así como la salida al recorrido	Orden del día Lista de asistencia Minuta de la reunión Presentación Fotografías

	terrestre y los sitios a visitar.	

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
6	Con los participantes se hace un ajuste de la logística de la salida. Visita prospectiva, se realiza el sobrevuelo, posteriormente se realiza el recorrido terrestre, en ambos casos se toman fotografías. Durante el recorrido se observa los aportes de agua al humedal, determinando si el humedal recibe aportes superficiales, subterráneos o ambos, así como las características propias del humedal, su dinámica hidrológica, geohidrológica y sus impactos. Se genera con los participantes un programa de entrevistas, para recopilar información de interés del área.	
7	**Decisión** De acuerdo a la visita prospectiva, se decide que caso seguir, para conocer la complejidad del sistema	
8	Caso I. Abastecido por Aguas Superficiales	
9	Caso II. Abastecido por Aguas Subterráneas	
10	Caso III. Abastecido por Aguas Superficiales y Subterráneas	

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
11	Recopilación y procesamiento de información cartográfica En los tres casos se realiza la recopilación y procesamiento de información cartográfica • cartografía digital, • fotografías aéreas • imágenes satelitales • mapas de isopiezas • Modelo digital del terreno • Levantamiento topográfico de detalle	Mapas
12	Datos hidrológicos e hidrogeológicos y climáticos de la cuenca • Registros de información de lluvias máximas en 24 horas y/o gastos máximos instantáneos. Aportaciones superficiales al humedal (identificación de la red hidrográfica) • Aportación subterránea al humedal e Información sobre las aguas subterráneas • Datos de evaporación • Datos de infiltración • Datos de extracción • Datos históricos de las estaciones hidrométricas de los ríos que vierten al humedal • Registros de acequias o manantiales • Datos piezométricos y su evolución son muy ilustrativos del grado de conectividad con el humedal. • Régimen de fluctuación piezométrica • Descargas al humedal • Pérdidas de agua	Memoria de cálculo

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
12	En humedales con aportación subterránea de agua, se deberá describir el funcionamiento del acuífero asociado al humedal y los valores de los parámetros que definen el comportamiento hidrogeológico de las mismas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, nivel piezométrico, volúmenes extraídos).	
13	**Decisión** Son suficientes los datos para generar el balance hidrológico	
14	Si, continuar al paso 17	
15	No, continuar al paso 16	
16	**Determinación del Balance hidrológico** Identificar y cuantificar los aportes de agua que alimentan el sistema, tanto de origen subterráneo como superficial, y las salidas o pérdidas. Se deberá establecer un modelo conceptual sobre el funcionamiento del humedal, identificando todos sus componentes y sus variaciones estacionales e interanuales. Esto permite conocer el origen de las aguas del humedal (superficial, subterráneo o mixto), el carácter del humedal respecto a las mismas (influente o efluente), así como los volúmenes de alimentación, recarga y circulación hídrica del sistema.	Memoria de calculo

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
17	Datos insuficientes para generar el balance hidrológico, **Sí,** se emplean modelos **hidrológicos (de aguas superficiales y subterráneas) y los modelos hidráulicos e hidrodinámicos** Habitualmente existen carencias en la cuantificación de algunos de los parámetros que aparecen en la ecuación del balance, sobre todo cuando se hace referencia a balances mensuales o series históricas del mismo. Para suplir estas carencias se utilizan los modelos. Los más frecuentemente utilizados han sido: el modelo del Número de Curva, el modelo de Temez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T, el modelo Sacramento (modelo hidrológico conceptual determinístico), el modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación) desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el modelo PATRICAL (Precipitación Aportación. En Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua) que puede funcionar en régimen natural o en régimen alterado entrópicamente, el modelo GIS-BALAN que evalúa los componentes hidrológicos en forma secuencial y realiza balances diarios de agua en el suelo edáfico en la zona no saturada y en el acuífero, y el modelo de aguas subterráneas MODFLOW desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos que permite realizar una modelización tridimensional del flujo de aguas subterráneas en medios porosos saturado.	Modelos

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
17	Para la determinación de la zona inundable es necesario aplicar modelos hidráulicos bidimensionales tal como el Mike 21, SOBEK o cualquier otro comercial que cuente con dichas capacidades.	
18	Datos insuficientes para generar el balance hidrológico, **No**, se procede a realizar el balance	
19	Datos insuficientes para generar el balance hidrológico, **Sí**, se realiza la batimetría. La batimetría es indispensable para conocer el régimen de inundación, ya que: • Permite conocer los volúmenes almacenados. • Permite conocer la superficie inundada y con ello la precipitación directa sobre la lámina de agua y la evaporación e infiltración referida a la misma. • Permite utilizar imágenes de satélite para la calibración de los modelos hidrológicos	La batimetría

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
20	**Balance hidrológico calibrado** La calibración es una tarea indispensable. Muchas de las variables hidrológicas están sujetas a una cierta incertidumbre. Además, los errores en las series de volúmenes del humedal son acumulativos, lo cual puede llevar a valores absurdos.	Balance Hidrológico Mapas
21	**Régimen de inundación del humedal** El régimen de inundación del humedal se refiere a la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo. Este estudio se aborda a escala mensual, y para conocer la variabilidad interanual es necesario disponer de series temporales largas. Determinar el régimen de inundación de un humedal no es sencillo; para ello se debe establecer el balance hídrico del humedal y se debe conocer la batimetría del mismo.	El régimen de inundación del humedal
22	Delimitación del humedal, corrección de la poligonal Verificación de puntos en campo	Mapas
23	Definición del área en zona federal, por traslape de polígonos uso de suelo vegetación e inundación	Mapas
24	Publicación en el Diario Oficial de la Federación del humedal (cuerpo de agua) y su zona federal	Publicación del Diario Oficial de la Federación

No.	Actividades a realizar	Evidencias generadas
25	Conector	
26	Inicio del proceso de delimitación del perímetro de protección de la zona húmeda del humedal	
27	Estudios por administración o supervisión de estudios a contrato Los términos de referencia deberán seguir el formato guía proporcionado por la Gerencia de Calidad del Agua	Términos de referencia
28	Recopilación y procesamiento de información cartográfica	Geobase
29	Trabajo de campo (hidrología, vegetación y suelos) • *Características a considerar en campo:* • *Vegetación hidrófila* • *Proporción de especies indicadoras* • *Cobertura de las especies indicadoras por estrato* • *Dominancia de especies indicadoras por estrato* • *Suelos hidromórficos* • *Tipos de suelos hidromórficos* • *Hidrología* • *Escala máxima anual* • *En periodo seco y húmedo* • *Un período de retorno de 20 a 30 años en retrospectiva*	Memoria de cálculos Informe con los siguientes puntos: ❖ lista florística ❖ edafológica ❖ caracterización ambiental ❖ hidrología ❖ acervo fotográfico
30	Determinación del tamaño del perímetro de protección del humedal, considerando los siguientes puntos: • *Uso de los terrenos circundantes* • *Tenencia de la tierra* • *Topografía de detalle.* • *Extensión del humedal* • *Funciones ecológicas* • *Ubicación de los acuíferos*	Cartografía digital Informe
31	Perímetro de protección del humedal, Geovisor de la Conagua e inclusión en POETs	Cartografía digital en el Geovisor

10. Aspectos cartográficos

Información geográfica

- Cartografía digital. Actualmente se dispone de las cartas topográficas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI) en escalas: 1:250,000, 1:50,000, 1:20,000 y 1:5,000, para análisis en los ámbitos regional, estatal y local, respectivamente. También se cuenta con las cartas temáticas de geología, uso del suelo, vegetación, hidrología y humedales en escala 1:250,000. Esta información es para realizar el hidrológico
- Inundaciones. Cartografía con las zonas inundables registradas en años anteriores.
- Imágenes de satélite. Existen imágenes de diferentes sensores como: LandSat y Spot con coberturas de todo el país para diferentes años, resoluciones y espectros del infrarrojo.
- Ortofotos digitales. Con cobertura de todo el país en escala 1:20,000.
- Modelos digitales de elevación. Están disponibles en resoluciones de 90 metros (escala 1:250,000) y de 20 metros (escala 1:50,000) para toda la República Mexicana. Estos parten de la base de la información procesada del INEGI son necesarios para los cálculos hidrológicos pero para el análisis hidráulico es necesario topografía de detalle.

Cabe mencionar que los insumos cartográficos se han publicado en la Intranet y están disponibles, a través de la Red Nacional de Datos de la CONAGUA, para sus empleados.

En paralelo, se ha distribuido una copia de la información geográfica a las unidades del SIGA en cada Organismo de Cuenca. La misma información puede ser proporcionada, atendiendo a una solicitud de los interesados, a través de correo electrónico o de un medio optomagnético.

Cartografía en papel. No se debe descartar la posibilidad de utilizar la cartografía en papel producida por otras instancias públicas o privadas, que pueda enriquecer el acervo digital cartográfico.

Información hidrográfica. Serán particularmente importantes las capas de la carta topográfica correspondientes a la ubicación de cuerpos de agua (mar, lagos, lagunas, presas, humedales, manglares); ubicación y características de las corrientes superficiales.

También será necesario tener la ubicación y registros históricos de las estaciones hidrométricas; y por supuesto la delimitación de Regiones Hidrológico-Administrativas y cuencas (regiones y subregiones hidrológicas).

Desarrollos e infraestructura urbana, industrial, agrícola, de comunicaciones (carreteras, caminos, vías férreas, puertos, aeropuertos); fuentes de abastecimiento de agua; plantas potabilizadoras y de tratamiento de agua y usos del suelo.

División territorial

- Política. Municipal, estatal, nacional y; en su caso, internacional.
- Hidrológica. Regiones y subregiones hidrológicas en escala 1:250,000.
- Delimitación de acuíferos a escala 1:250,000.
- Hidrológico-Administrativas. Organismos de Cuenca (13), Consejos de Cuenca, Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS).

Superficie, población, infraestructura o desarrollos afectados o afectables, indicando sus características en términos cuantitativos y su ubicación geográfica.
Coordenadas de sitios y elementos de interés (presas, estaciones de medición, y zonas inundadas). Se recomienda seguir los lineamientos fijados para la obtención de coordenadas con receptores GPS.

11. Lineamientos para la Delimitación de Humedales continentales en el aspecto de hidrología superficial

La delimitación de un humedal conforme lo han descrito diversos autores debe compatibilizar los criterios edafológicos, vegetativos e hidrológicos. Por tal motivo el establecer un criterio basado únicamente en el aspecto hidrológico pudiera conducir a resultados, que sería necesario validar con respecto al sentido común y esto sería un proceso iterativo hasta obtener resultados que satisfagan la mayoría de los criterios que definen a un humedal.

Para incluir el aspecto vegetativo y biológico de los humedales se propone tomar en cuenta dos metodologías, una plasmada en la norma NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Así mismo, la otra se deberá obtener a partir de registros máximos anuales de una estación hidrométrica o bien de la aplicación de algún modelo lluvia

escurrimiento, la avenida asociada a un período de retorno de 1.7 años. Se deberán contrastar las dos metodologías y seleccionar la que dé mayores valores.

Se podrán utilizar tres metodologías para determinar el nivel de la superficie libre del agua en el humedal.

1. En caso de que se cuente con un registro de escalas máximas de al menos 5 años, se puede considerar la asociada a un período de retorno de 1.7 años como el nivel con el que se realizará la delimitación del humedal.
2. La segunda metodología que se propone para determinar el nivel de la superficie libre del agua el cual será el nivel con el cual delimitaremos el humedal es la de un funcionamiento de vaso al aplicar la ecuación de continuidad la cual expresada en un intervalo de tiempo dado es:

$\Delta V = X - D$

Dónde:

ΔV= cambio del volumen almacenado en el vaso durante el intervalo Δt.

X= volumen de entradas al vaso durante el intervalo Δt

D= volumen de salidas del vaso durante el mismo intervalo

Para realizar el tránsito es indispensable: generar el hidrograma de entrada, una elevación inicial del humedal, definir una ley de descarga y contar con las curvas elevación áreas capacidades

Para definir la ley de descargas del humedal deberá identificarse las salidas del mismo e idealizarlas en una curva elevaciones-capacidad de descarga.

Un parámetro importante para la determinación del nivel de la superficie libre del agua es el volumen de regulación del humedal el cual puede ser inferido a través de la configuración topográfica del mismo. Dicha configuración debe ser representada mediante las curvas de nivel y batimétricas del humedal. Es de vital importancia contar

con curvas precisas que reflejen la configuración del humedal. La equidistancia de estas curvas puede ser desde 0.10 m hasta 0.5 m a fin de que se represente fielmente el volumen que puede regular el humedal.

3. Modelos hidráulicos bidimensionales.- A partir de la configuración topográfica descrita en el inciso anterior, se pueden armar modelos hidráulicos bidimensionales los cuales deberán ser calibrados al considerar que la mancha de inundación asociada a un período de retorno de 1.7 años cumpla también con los aspectos del tipo de suelo y vegetación.

La metodología utilizada para la determinación de los límites del humedal en su aspecto de hidrología superficial deberá ser validada por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.

Los planos de delimitación del humedal serán aprobados y firmados por los titulares de las Gerencias de Aguas Subterráneas y Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos y en su respectivo ámbito de competencia los Directores Generales de Organismos de Cuenca.

Procedimiento para la obtención del balance hidrológico de un humedal

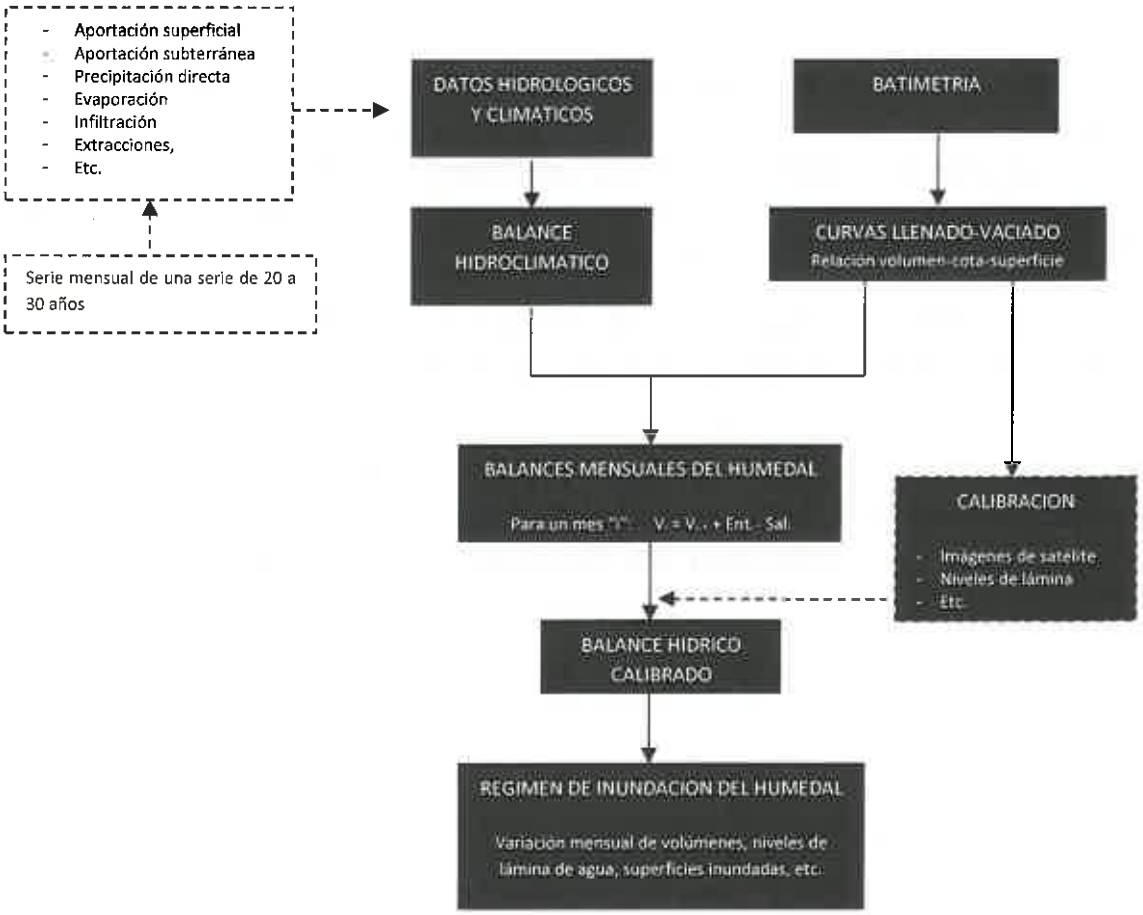


Figura 1.Procedimiento para la obtención del régimen de inundación de un humedal. FUENTE: Rafael Sánchez Navarro, enero 2011.

12. Aspectos hidrogeológicos

Numerosos humedales son alimentados por la descarga natural de acuíferos. Esta puede ocurrir en diferentes formas: i) a través de manantiales, difusos o concentrados en zonas de fractura, de falla o de cambio de permeabilidad, ii) a lo largo de cauces, generando el caudal base de las corrientes permanentes, iii) en depresiones topográficas u oquedades de origen kárstico donde la superficie freática aflora o fluctúa a poca profundidad ("pozas", cenotes,...), iv) en las fajas costeras donde la descarga de agua dulce de los acuíferos, el agua de las corrientes superficiales y al agua marina, se mezclan en lagunas, pantanos y esteros.

Para delimitar y definir la zona de protección de un humedal alimentado por agua subterránea, se requiere de un estudio hidrogeológico del acuífero, que debe incluir la definición de su modelo conceptual, la determinación de sus características, el análisis de los aspectos piezométricos (elevación, evolución y profundidad del nivel estático), la estimación de la magnitud y distribución espacio-temporal de la recarga y descarga natural, su grado de explotación, entre otros aspectos. Desde luego, en relación con el humedal, debe prestarse especial atención a la porción del acuífero que es tributaria del mismo.

La información básica para realizar tal estudio se refiere a: topografía (configuración del terreno o modelo digital de elevación), geología (litología y, en su caso, estructura del acuífero), hidrogeoquímica (características físico-químicas del agua, clasificación iónica...), piezometría (direcciones y gradientes de flujo), hidrometría (caudal y régimen de la descarga natural que alimenta al humedal). En este último aspecto, son especialmente útiles los aforos de las corrientes superficiales y de los manantiales que alimentan a los humedales para analizar su caudal base, es decir, el que procede de la descarga del subsuelo durante los periodos de estiaje.

El estudio anterior no debe considerar al acuífero que alimenta al humedal como un elemento aislado, sino como el elemento subterráneo de un sistema hidrometeorológico integral conformado, según el caso, por agua superficial-agua subterránea-agua meteórica-agua marina. Esto significa que el balance hídrico de un humedal debe considerar en conjunto las fuentes subterráneas y superficiales que lo alimentan, ya que éstas interactúan sumándose o contraponiéndose; así, por ejemplo, durante un periodo lluvioso la aportación de agua superficial puede reducir o eliminar la descarga del subsuelo, e incluso convertir temporalmente al humedal en una zona de recarga del acuífero subyacente.

Menos complejo es el análisis de los humedales ubicados en las zonas áridas porque, normalmente, su alimentación principal o única proviene de las descargas del acuífero, constituyendo algunos de ellos verdaderos "oasis". Tal es el caso de los humedales de Loreto, Mulegé, Los Cabos, San Ignacio, en la Península de Baja California, de los de Cuatrociénegas en el Estado de Coahuila, o de los cenotes de la Península de Yucatán.

En las partes más bajas de las cuencas cerradas del norte de nuestro país, existen numerosos humedales alimentados por corrientes esporádicas y por la descarga de los acuíferos. Durante las temporadas de lluvias las aportaciones superficiales forman lagos de dimensiones variadas, cuya extensión disminuye en el estiaje por efecto de la elevada evaporación y eventualmente desaparecen cuando las aportaciones subterráneas no son suficientes para mantener un cuerpo de agua. Sin embargo, la humedad del terreno es mantenida por la presencia de niveles freáticos someros, a partir de los cuales al agua asciende por capilaridad hasta la superficie, donde la evaporación provoca el depósito de las sales disueltas en el agua, dando lugar a salitrales; esta condición persiste mientras los niveles freáticos oscilan a profundidades del acuífero y la evaporación real. En general, estos humedales no son de gran importancia, porque la reducida cantidad de agua que reciben y/o contienen y la elevada salinidad no propician el desarrollo de flora y fauna abundantes.

13. Zona de protección de los humedales abastecidos únicamente por aguas superficiales.

De acuerdo a su régimen hidrológico, los humedales pueden ser; permanentemente inundados, estacionalmente inundados, los que solamente se saturan estacionalmente. Esto también se relaciona con la geomorfología presente en el lugar donde ocurre el humedal (depresión, planicie, etc.).

Los humedales mantienen tres zonas generalmente: la de inundación permanente, la de inundación estacional y la de saturación estacional, es en esta última zona donde se encuentra el límite de protección del humedal (Figura 2). En el caso de los humedales permanentemente inundables se mantienen las tres zonas, los humedales estacionalmente inundables tienen dos zonas (inundación estacional y saturación estacional) y los humedales estacionalmente saturados tienen una, la zona de saturación estacional (Semeniuk y Semeniuk, 1995)

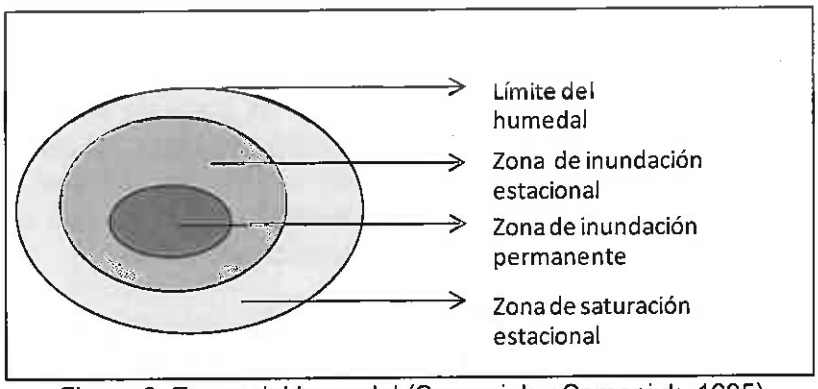


Figura 2. Zonas del humedal (Semeniuk y Semeniuk, 1995)

La distribución de las plantas en la zona de humedal resulta ser un elemento importante y visible para llevar a cabo el proceso de delimitación del perímetro de protección de los humedales, ya que basándonos en la forma de crecimiento de las plantas (libre y/o enraizada) así como; en su tolerancia e intolerancia a la inundación (acuática, subacuática y tolerante) podemos definir el espacio en el que ocurre el humedal así como la zona del humedal que habitan permitiendo esto fijar un límite del perímetro de protección del humedal (Figura 3).

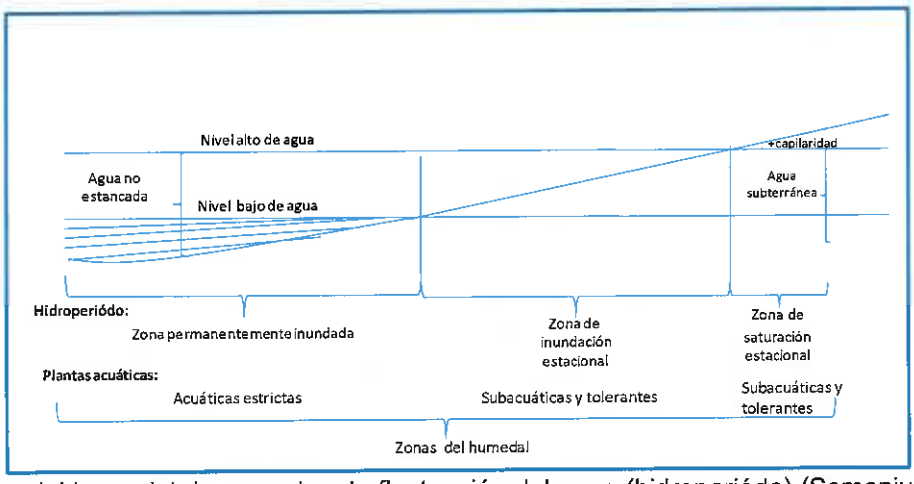


Figura 3. Zonas del humedal de acuerdo a la fluctuación del agua (hidroperiódo) (Semeniuk y SemeniuK, 1995) y el sitio de ocurrencia de las plantas acuáticas de acuerdo a la experiencia en campo de las brigadas de especialistas en humedales del INH.

La delimitación del perímetro de protección del humedal, "La Conagua" a través de los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, realizará estudios por administración o supervisará los estudios contratados. En ambos casos deberá asegurar que se

consideren, los criterios florísticos, edafológicos, hidrológicos e hidrogeológicos, según sea el caso.

Desde el punto de vista hidrológico, la obtención de la zona de protección se realizará al determinar la diferencia entre la escala máxima anual y la obtenida al calcular estadísticamente la escala asociada a un período de retorno de una serie de 20 a 30 años en retrospectiva dependiendo del tipo de humedal; la distancia se determinará al obtener la proyección horizontal entre ambas elevaciones.

Una vez que se ha delimitado el humedal habrá que diferenciar que parte del mismo se ubica dentro de la zona federal o el cauce, vaso, laguna o cuerpos de agua que son de propiedad nacional. Lo anterior, con el objeto de establecer que parte corresponde o se encuentra dentro de los bienes nacionales, y a cargo de la Conagua.

13.1 Las dimensiones de los perímetros de protección en caso de alimentación subterránea

El ancho, largo y la composición de las áreas de amortiguamiento son factores clave que mejoran muchas de las funciones esenciales al establecimiento y mantenimiento de humedales sanos. Estas zonas variarán de tamaño en función de diferentes factores, tales como el uso de los terrenos circundantes, la tenencia de la tierra, la topografía, la extensión del humedal y sus funciones ecológicas. En términos generales, y al menos en las zonas templadas, un buffer más ancho, más largo y más densamente vegetado, con estratos de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea, proporciona más beneficios que zonas escasamente vegetadas solamente con especies herbáceas y de menores dimensiones.

Cuando se trata de humedales alimentados principalmente por aguas subterráneas, la definición de la zona de protección requiere de un enfoque más amplio, ya que la protección no se refiere sólo a un conjunto de medidas aplicables en el propio humedal y en el área circunvecina, sino que debe considerar además la preservación de la cantidad de agua que recibe del subsuelo –un caudal ecológico-, mediante un manejo adecuado del acuífero subyacente.

La medida obvia de protección consiste en restringir o evitar la construcción de pozos en las inmediaciones de los humedales, ya que la influencia del bombeo puede reducir el flujo subterráneo hacia ellos. Un análisis del área de influencia de los pozos es necesario para definir a qué distancia mínima de los humedales deben ubicarse para no generarles efectos negativos. Pero en muchos casos esta medida no basta, porque la extracción de agua subterránea en gran escala, aun cuando los pozos estén ubicados a gran distancia de los humedales, puede provocar abatimientos regionales que se

traducen en la intercepción de las descargas naturales del acuífero, con la consiguiente desaparición de humedales, caudal base, manantiales…

Desde el punto de vista normativo, implícitamente se ha incluido un medida de protección de los humedales en el término "Descarga Natural comprometida" que, en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, aparece en la expresión aplicada para determinar la disponibilidad de agua subterránea, con la intención de preservar la fracción de la descarga natural de los acuíferos que está comprometida con el medio ambiente o concesionada como agua superficial.

En otro aspecto, la protección de los humedales debiera considerar en los planes de manejo integrado, considerándolos como un usuario más, sobre todo cuando tienen significativa importancia ecológica, turística, paisajística, industrial…. Tal importancia es relativa y debe ser evaluada mediante un análisis de beneficio/costo, pues especialmente en las regiones de escasez natural de agua, la disyuntiva es preservar el agua para el medio ambiente o destinarla a los usos humanos prioritarios, como el consumo humano.

13.1.1 Características a considerar en campo.

- Proporción de especies indicadoras
- Cobertura de las especies indicadoras por estrato
- Dominancia de especies indicadoras por estrato

Se considera que la vegetación es indicadora de un humedal cuando:

a. Las especies estrictas u obligadas (acuáticas o subacuáticas) constituyen todas las especies dominantes en la comunidad, o bien

b. Las especies estrictas (OBL) no dominan cada estrato, pero más del 50% de las especies dominantes de todos los estratos de vegetación son especies estrictas, facultativas de humedales; o

c. La comunidad tiene un porcentaje de cobertura (utilizando una aproximación visual mediante la aplicación de una escala porcentual) de especies estrictas y facultativas de humedales que excede la cobertura del conjunto de especies facultativas terrestres y especies terrestres.

Ver anexo técnico.

13.1.2 Criterios a considerar para emplear solamente aspectos florísticos en la delimitación del perímetro de protección del humedal.

- Las especies dominantes son especies indicadoras de humedales (acuáticas o subacuáticas) que indican condiciones de saturación.
- Donde hay una predominancia de especies indicadoras de humedales (acuáticas o subacuáticas).
- Hay un borde claro con respecto a la comunidad vecina, por ejemplo una pendiente y por tanto varía la capacidad de acumulación o saturación de agua.
- En áreas que recientemente se han inundado y dicha inundación se mantiene, se va creando un humedal (por ejemplo apertura de una boca, cambio de curso de río o por condiciones artificiales), y no ha habido suficiente tiempo para que se formen suelos hídricos. Por tanto se cumplen las condiciones e indicadores de hidrología pero no de suelos hídricos. En este caso la vegetación es el mejor indicador.

Ver anexo técnico.

14. Acrónimos

CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
LAN	Ley de Aguas Nacionales
NAME	Nivel de aguas máximas extraordinarias
NOM	Norma Oficial Mexicana
SEMARNAT	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
ZOFEMATAC	Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros

15. Bibliografía

- Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. CONAGUA. **Procedimiento simplificado de cálculo para la delimitación de Zona Federal**.

- INEGI 2006. **Cartografía Humedales Potenciales de México**. Continuo Nacional Primera Edición escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México.

- Informe OMM/PREMIA No. 79. **Propuesta de clasificación y delimitación de humedales de México**. 2009. Consultora Patricia Moreno-Casasola.

- CONAGUA. **Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento**. Última reforma publicada DOF 29-04-2004

- Norma Oficial Mexicana **NOM-11-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad medial anual de las aguas nacionales.** DOF. 17 de abril de 2002.

- Norma Oficial Mexicana **NOM-146-SEMARNAT-2005, que establece la metodología para la elaboración de planos que permitan la ubicación cartográfica de la Zona Federal Marítimo Terrestre y terrenos ganados al mar que se soliciten en Concesión**. DOF. 9 de septiembre de 2005.

- Moreno-Casasola, P., H. López R. y S. Garza. 2005. **Flora y vegetación de los humedales de México**. En: Abarca, F. y M. Herzig. (Ed.). Manual para el Manejo y Conocimiento de los Humedales. Textos Adicionales. SEMARNAP-Arizona Fish and Wildlife. México D.F.

- Moreno-Casasola, P. *et al.*, 2009. **Guía para la delimitación de humedales del Golfo de México**. Instituto de Ecología A.C.- CONAGUA- Informe OMM/PREMIA No. 79.

16. Transitorios

PRIMERO.- Los presentes Lineamientos entrarán en vigor al día siguiente de su publicación

SEGUNDO.- La vigencia de los lineamientos, se contará a partir de la publicación de la versión vigente.

Dado en la Ciudad de México, a 15 de noviembre de dos mil trece.

Autoriza

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés
Subdirector General Técnico

Elaboró:

Gerente de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos	Gerente de Aguas subterráneas	Gerente de Calidad del Agua
M. en I. Horacio Rubio Gutierrez	**Ing. Rubén Chávez Guillén**	**Ing. Enrique Mejía Maravilla**

ANEXO TÉCNICO

Generalidades de los criterios

I. Criterio hidrológico del humedal

El agua constituye un factor esencial en la identificación y delimitación de los humedales, ya que el papel que juega en la distribución y en la diversidad de las comunidades bióticas, en su estructura vertical y horizontal, así como en los ciclos de materia y energía determina las características que los distinguen del resto de los ecosistemas terrestres.

El agua se acumula generalmente en la superficie del humedal, constituyendo una lámina de agua fluctuante que se desplaza en favor de la pendiente (sistema lótico) o que permanece estancada (sistema léntico). La presencia de la lámina de agua de forma permanente, semipermanente o temporal es la responsable de la existencia de especies y comunidades bióticas exclusivas de los humedales. El balance entre los aportes y pérdidas de agua resulta positivo en los humedales a diferencia de los ecosistemas terrestres.

En humedales con inundación temporal, la ausencia de la lámina de agua no conlleva la desaparición de ésta en el humedal. El agua puede permanecer durante gran parte del año confinada entre los horizontes del suelo del humedal, alejada por lo tanto de las raíces de las plantas o, por el contrario, permanecer más próxima a la superficie incluida entre horizontes superficiales o embebiendo los tapices de vegetación que cubren la superficie del humedal. La saturación de los horizontes superficiales y/o el área de la vegetación, representan un factor limitante para el desarrollo de muchas especies vegetales y animales terrestres, mientras que propicia la expansión y mantenimiento de los elementos hidrófilos. El grado de permanencia del nivel de saturación del suelo permite diferenciar entre medios turfófilos (con saturación permanente o semipermanente) e higrófilos (con saturación semipermanente o temporal).

Para la delimitación se debe tener en cuenta la topografía, la hidrología y la hidráulica. Esta información permite determinar la avenida máxima ordinaria (nivel máximo que ha llegado el agua en un periodo de tiempo determinado), y las zonas de inundación que serán la base del límite del humedal. Permitiendo evidenciar el área que correspondería a la zona de "expansión del humedal" (relación entre la mínima y máxima área del humedal, teniendo como base el criterio agua).

Los humedales abastecidos con aguas procedentes de los acuíferos se localizan preferentemente en las zonas conocidas como de descarga, ubicadas en las porciones topográficamente más bajas de la cuenca, en terrenos llanos, y muy comúnmente al nivel del mar, pudiendo existir en la porción continental en regiones donde de acuerdo con el mapa de elevación del nivel estático, marca una red de flujo que aflora, como es el caso de las pozas de Cuatrociénegas, en el estado de Coahuila.

El hidroperíodo juega un papel preponderante, determinando la perennebilidad y temporalidad del agua en los humedales. Así mismo es muy importante tener presente el tipo de humedal (palustre, lacustre, ribereño, etc.), ya que estos requieren ciertas variaciones en la metodología para su delimitación. Con base en esto, se han establecido elementos que indican de manera directa o indirecta que pueden ser utilizados para delimitar el humedal en campo.

Dentro de los indicadores directos está la observación del límite del agua (orilla) (Figura A1). La dificultad en la determinación del límite por observación directa se da en pendientes muy suaves (< 5 °), con suelos arcillosos a limosos que van de un tamaño de grano de 2 a 63 μm o los suelos muy compactados (sin importar la textura) en donde los encharcamientos son muy comunes. En estos casos se considera el límite del agua cuando la lámina es igual a 5 cm. En casos de pendientes > a 5 °, en conjunto con suelos porosos y muy poco compactados este criterio no se consideraría puesto que la probabilidad de encontrar encharcamientos seria mínima. Sin embargo, en suelos que son muy porosos el agua puede provenir del manto freático y no de un encharcamiento. Entre los indicadores indirectos se consideran los rastros dejados por las inundaciones, entre los que podemos encontrar (Figura A2):

- Marcas de agua dejadas en estructuras duras como los árboles, puentes, rocas etc.
- Hojas o rastros de vegetación, basuras, bandas de sales dejadas en las orillas.
- Restos de sedimento (cieno) fino en las orillas.
- Las áreas deslavadas indicadoras del flujo de agua.
- Presencia de caracoles acuáticos en depresiones secas. Este criterio debe tomarse en cuenta con reserva ya que estas estructuras pueden ser fácilmente arrastradas por la corriente.

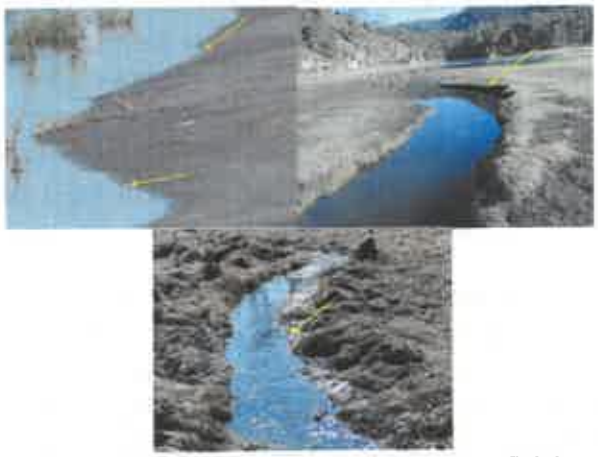
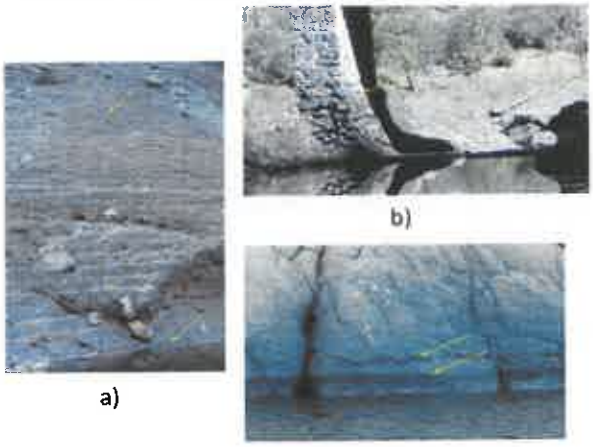


Figura A1. Límite del agua a nivel superficial.



a) b) c)

Figura A2. Marcas de agua dejadas por el agua: a) oleaje; b) y c) en estructuras duras. Las flechas indican las marcas dejadas por el agua.

II. Criterio edafológico del humedal.

En los humedales, los suelos juegan un papel fundamental ya que es donde se produce el estrés por la escasez de oxígeno y donde se descompone con mayor o menor velocidad la materia orgánica, procesos determinantes en los distintos tipos de humedales. Además juegan un papel fundamental en la delimitación perímetros de protección de zonas de humedales, ya que son los que mantienen la historia del humedal permaneciendo aún después de que éste ha sido drenado y la vegetación hidrófila ha desaparecido (Moreno et al. 2009).

A los suelos presentes en humedales se les llama suelos hídricos, definiéndose como suelos saturados o inundados suficiente tiempo los cuales mantienen una condición anaeróbica. Esta condición, es decir bajas cantidades de oxígeno, producen cambios físicos y químicos en el suelo, los cuales se vuelven aparentes y sirven como indicadores de condiciones hídricas. Estos indicadores tardan muchos años en desarrollarse, asociándose en el largo plazo a la hidrología de humedales de un sitio. Por lo tanto, los indicadores físicos de condiciones saturadas persisten aun después de que la hidrología de un área ha sido alterada. Los indicadores morfológicos son utilizados para la identificación en campo de suelos hídricos (Environmental Laboratory, 1987).

La lista de los suelos hídricos fue creada mediante criterios de selección de las propiedades del suelo que se documentan en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelos (WRB, 2009 por sus siglas en inglés) y la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999): Gleysoles, Fluvisoles, Luvisoles, Histosoles, Planosoles, Solonchak, Vertisoles, Acrisoles, Cambisoles, Litosoles.

Tipos de Suelos hídricos:

Gleysoles

Los Gleysoles son suelos de humedales que, a menos que sean drenados, están saturados con agua freática por períodos suficientemente largos para desarrollar un característico patrón de color gléyico. Este patrón está esencialmente hecho de colores rojizos, parduzcos o amarillentos en la cara de los agregados y/o en la capa o capas superficiales del suelo, en combinación con colores grisáceos/azulados en el interior de agregados y/o más profundo en el suelo (**Figura** A3). Muchos de los Gleysoles presentados en la Base de Referencia Mundial (WRB por sus siglas en inglés) correlacionan con los subórdenes ácuicos de la Taxonomía de Suelos norteamericana (Acualfes, Acuentes, Acueptes, Acuoles, etc).

La *Base de Referencia Mundial* describe los Gleysoles como: Suelos con signos claros de influencia del agua freática; del ruso gley, *masa lodosa*. Material parental: Un amplio rango de materiales no consolidados, principalmente fluviales, marinos y lacustres del Pleistoceno u Holoceno, con mineralogía básica a ácida. Ambiente: Aéreas deprimidas y posiciones bajas del paisaje con agua freática somera. Desarrollo del perfil: Evidencias de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe dentro de 50 cm de la superficie del suelo.

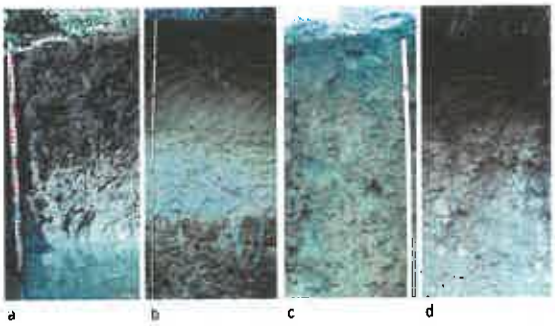


Figura A3. Ejemplos de suelos gleysoles con base en el WRB (Base de Referencia Mundial): a) Gleysol móllico, b) Gleysol úmbrico, c) Gleysol eútrico y d) Gleysol dístrico.

Fluvisoles

Los Fluvisoles acomodan suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales (Figura A4). Estos suelos no están confinados sólo a los sedimentos de ríos (latín fluvius, río); también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos.

La Base de Referencia Mundial describe los Fluvisoles como: Suelos desarrollados en depósitos aluviales; del latín fluvius, río. Material parental: Predominantemente depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos. Ambiente: Planicies aluviales, abanicos de ríos, valles y marismas costeras en todos los continentes y en todas las zonas climáticas; muchos Fluvisoles bajo condiciones naturales se inundan periódicamente.

Desarrollo del perfil: Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes pero puede haber presente un horizonte superficial diferente. Los rasgos redoximórficos son comunes, en particular en la parte inferior del perfil.

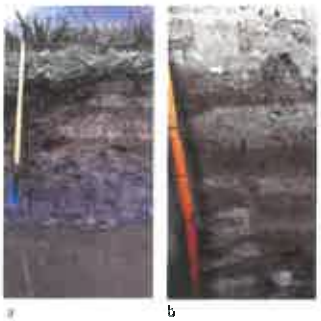


Figura A4. Perfiles de Suelos Luvisoles presentados en WRB. Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Material parental: Predominantemente depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos. a) fluvisol tiónico, b) fluvisol eútrico.

Luvisoles

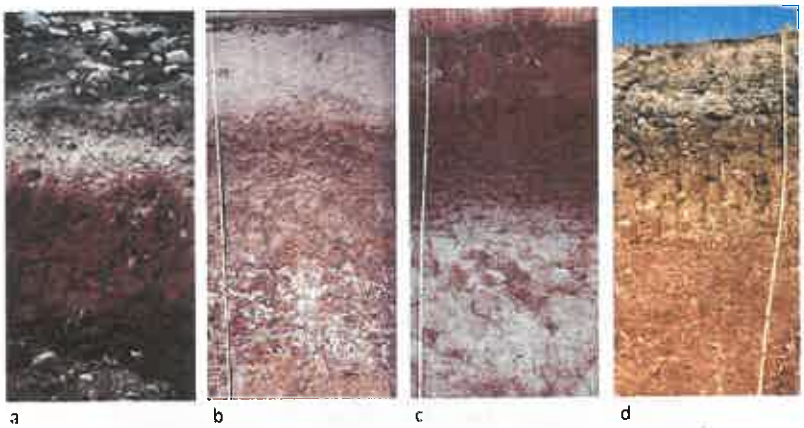
Los Luvisoles son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico[1]. Los Luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación con bases a ciertas profundidades (Figura A5)[2]. Muchos Luvisoles son o fueron conocidos como: suelos texturales-metamóricos (Federación Rusa), sols lessivés (Francia), Parabraunerden (Alemania), Chromosols (Australia), Luvissolos (Brasil), Grey- Brown Podzolic soils (terminología antigua de los Estados Unidos de Norteamérica), y Alfisoles con arcillas de alta actividad (Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos).

La Base de Referencia Mundial describe los Luvisoles como: Connotación: Suelos con una diferenciación pedogenética de arcilla (especialmente migración de arcilla) entre un suelo superficial con menor y un subsuelo con mayor contenido de arcilla, arcillas de alta actividad y una alta saturación con bases a alguna profundidad; del latín luere, lavar. Material parental: Una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glaciario, y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Ambiente: Principalmente tierras llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y cálidas (e.g. Mediterráneas) con estación seca y húmeda marcadas.

[1] El horizonte álbico (del L. albus, blanco) es un horizonte subsuperficial de color claro del cual han sido removidos la arcilla y óxidos de hierro libres, o en el cual los óxidos han sido segregados a tal grado que el color del horizonte está determinado por el color de las partículas de arena y limo más que por los revestimientos de estas partículas.

[2] Suelos con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico.

Desarrollo del perfil: Diferenciación pedogenética del contenido de arcilla con un bajo contenido en el suelo superficial y un contenido mayor en el subsuelo sin lixiviación marcada de cationes básicos o meteorización avanzada de arcillas de alta actividad; los Luvisoles muy lixiviados pueden tener un horizonte eluvial álbico[3] entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial árgico, pero no tienen las lenguas albelúvicas de los Albeluvisoles.



a b c d

Figura A5. Perfiles de Suelos Luvisoles presentados en la WRB. a) luvisol álbico, b) luvisol cálcico, c) luvisol vértico, d) luvisol háplico.

El horizonte álbico (del L. albus, blanco) es un horizonte subsuperficial de color claro del cual han sido removidos la arcilla y óxidos de hierro libres, o en el cual los óxidos han sido segregados a tal grado que el color del horizonte está determinado por el color de las partículas de arena y limo más que por los revestimientos de estas partículas.

El horizonte árgico (del latín argilla, arcilla blanca) es un horizonte subsuperficial que tiene claramente mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente.

Histosoles

Los Histosoles comprenden suelos formados de material orgánico. Varían desde suelos desarrollados predominantemente en musgo de turba en regiones boreal, ártica y subártica, via turba de musgos, turba de cañas/ciperáceas (pantanos) y turba de bosque en regiones templadas hasta turba de manglares y turba de bosque de pantano en los trópicos húmedos.

[3] El horizonte árgico (del latín argilla, arcilla blanca) es un horizonte subsuperficial que tiene claramente mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente.

Los Histosoles se encuentran en todas las altitudes, pero la gran mayoría ocurren en tierras bajas. Los nombres comunes son suelos de turba, suelos de lodo, suelos de pantanos y suelos orgánicos (Figura A6).

La Base de Referencia Mundial describe los Histosoles *como*: Connotación: Suelos de turba y pantanos; del griego histos, tejido. Material parental: restos vegetales incompletamente desompuestos, con o sin mezcla de arena, limo o arcilla. Ambiente: Los Histosoles ocurren extensivamente en regiones boreal, ártica y subártica. En otros lugares, están confinados a cuencas y depresiones pobremente drenadas, pantanos y marismas con agua freática somera, y áreas de tierras altas con una alta relación precipitación–evapotranspiración.

Desarrollo del perfil: La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica, y formación de sustancias húmicas crea una capa superficial de moho con o sin saturación con agua prolongada. El material orgánico translocado puede acumularse en capas más profundas pero más frecuentemente es lixiviado del suelo.

a b c

Figura A6. Perfiles de Suelos Histosoles presentados en WRB: a) histosol fibrico, b) histosol fólico, c) histosol térrico.

Planosoles

Los Planosoles son suelos con un horizonte superficial de color claro que muestra signos de estancamiento de agua periódico y suprayace abruptamente un subsuelo denso, lentamente permeable con significativo incremento de arcilla respecto del horizonte superficial (Figura A7).

El área más grande de Planosoles en el mundo ocurre en regiones subtropicales y templadas con una alternancia clara de estación seca y húmeda, El color del suelo depende de sus componentes y puede usarse como una medida indirecta de ciertas propiedades. El color varía con el contenido de humedad.

El color rojo indica contenido de óxidos de hierro y manganeso; el amarillo indica óxidos de hierro hidratado; el blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín; y el negro y marrón indican materia orgánica. Cuanto más negro es un suelo, más productivo será, por los beneficios de la materia orgánica.

La Base de Referencia Mundial describe los Planosoles *como*: Connotación: Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas estacionalmente anegadas; del latín planus, plano. Material parental: Principalmente depósitos aluviales y coluviales arcillosos. Ambiente: Estacionalmente o periódicamente saturados, áreas planas (plateau), principalmente en regiones subtropicales y templadas, semiáridas y

subhúmedas con vegetación de bosque liviano o pastos. Desarrollo del perfil: La estratificación geológica o pedogénesis (destrucción y/o remoción de arcilla), o ambos, ha producido un suelo superficial de color claro, textura relativamente gruesa, abruptamente por encima de un subsuelo de textura más fina; la percolación de agua descendente impedida causa condiciones reductoras temporarias con un patrón de color stágnico, por lo menos cerca del cambio textural abrupto.

Figura A7. Planosol según la WRB. Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas estacionalmente anegadas.

Solonchaks

Los Solonchaks son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Los Solonchaks están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas. Nombres comunes internacionales son suelos salinos y suelos afectados por sales. En sistemas nacionales de clasificación de suelos, muchos Solonchaks pertenecen a: suelos halomórficos (Federación Rusa), Halosols (China), y Salides (Estados Unidos de Norteamérica).

La Base de Referencia Mundial (WRB por sus siglas en inglés) describe los Solonchaks como: Suelos salinos; del ruso sol, sal. Material parental: Virtualmente cualquier material no consolidado. Ambiente: Regiones áridas y semiáridas, notablemente en áreas donde la napa freática ascendente donde hay algo de agua superficial presente, con vegetación de pastos y/o hierbas halófitas, y en áreas de riego con manejo inadecuado. Los Solonchaks en áreas costeras ocurren en todos los climas. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad. En áreas bajas con capa de agua somera, la acumulación de sales es mayor en la superficie del suelo (Solonchaks externos). Los Solonchaks donde el agua freática ascendente no alcanza el suelo superficial tienen la mayor acumulación de sales a cierta profundidad debajo de la superficie del suelo (Solonchaks internos) (Figura A8).

La acumulación excesiva de sales en suelos afecta el crecimiento de las plantas de dos maneras: Las sales agravan el stress hídrico porque los electrolitos disueltos crean un potencial osmótico que afecta la absorción de agua por las plantas.

Figura A8. Solonchak háplico. La WRB describe a los Solonchaks donde el agua freática ascendente no alcanza el suelo superficial (o aún el solum) tienen la mayor acumulación de sales a cierta profundidad debajo de la superficie del suelo (Solonchaks internos).

Vertisoles

Los Vertisoles suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años (Figura A9). El nombre Vertisoles se refiere al reciclado interno constante del material de suelo. Nombres comunes locales para muchos Vertisoles.

La Base de Referencia Mundial describe los Vertisoles *como*: Connotación: Suelos pesados arcillosos, que se mezclan; del latín vertere, dar vuelta. Material parental: Sedimentos que contienen elevada proporción de arcillas expandibles, o arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas. Ambiente: Depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiárido a subhúmedo y húmedo con una alternancia clara de estación seca y húmeda. La vegetación climax es sabana, pastizal natural y/o bosque. Desarrollo del perfil: La expansión y contracción alternada de arcillas expandibles resulta en grietas profundas en la estación seca, y formación de slickensides y agregados estructurales cuneiformes en el suelo subsuperficial. El microrelieve gilgai es peculiar de los Vertisoles aunque no se encuentra comúnmente.

La mayoría de los Vertisoles ocurren en los trópicos semiáridos y los trópicos húmedos. Las áreas más grandes de vertisol están sobre sedimentos que tienen alto contenido de arcillas smectíticas o que producen tales arcillas por meteorización post-deposicional (e.g. en Sudán), y en plateaus extensos de basalto (e.g. en India y Etiopía).

Figura A9. Vertisol cálcico.4

[4] La WRB describe a los Vertisoles como suelos pesados arcillosos, que se mezclan; Material parental: Sedimentos con elevada proporción de arcillas expandibles, o arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas.

Acrisoles

Los Acrisoles son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que llevan a un horizonte árgico en el subsuelo. Los Acrisoles tienen en determinadas profundidades una baja saturación con bases y arcillas de baja actividad (Figura A10). Los Acrisoles correlacionan ultisoles con arcillas de baja actividad (Estados Unidos de Norteamérica).

La Base de Referencia Mundial describe los Acrisoles *como* Suelos ácidos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad. Material parental: En una variedad amplia de materiales parentales, muy generalizados a partir de meteorización de rocas ácidas, y notablemente en arcillas fuertemente meteorizadas que están sufriendo mayor degradación; se desarrolla en ambiente de superficies con topografía con colinas u ondulada, en regiones con un clima húmedo tropical subtropical o templado cálido. El tipo de vegetación natural es selva. Desarrollo del perfil: Diferenciación pedogenética del contenido de arcilla con un bajo contenido en el suelo superficial y mayor contenido en el subsuelo; lixiviación de cationes básicos debido al ambiente húmedo y avanzado grado de meteorización.

Figura A10. Acrisol .5

Cambisoles

Los cambisoles combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. La Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos clasifica a la mayoría de estos suelos como Inceptisoles.

La Base de Referencia Mundial describe los Cambisoles como suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo (Figura A11) evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato.

Material parental: Materiales de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas. Desarrollo del perfil: Los cambisoles se caracterizan por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla iluvial, materia orgánica, compuestos de Al y/o Fe. Los cambisoles también abarcan suelos que no cumplen una o más características de diagnóstico de otros GSR, incluyendo los altamente meteorizados. Ambiente: Terrenos llanos a montañosos en todos los climas; amplio rango de tipo de vegetación.

Figura A11. Cambisol.6

III. Criterio botánico del humedal

La vegetación acuática es un criterio esencial que debe ser tomado en cuenta para delimitar el perímetro de protección del humedal. Las plantas que se desarrollan en estos ecosistemas se consideran hidrófitas o acuáticas, ya que presentan características distintivas que les permitan vivir en un sustrato que tiene presencia permanente o intermitente de agua. Según Cowardin *et al.* 1979 las define como aquellas que crecen en agua o en un sustrato que por lo menos periódicamente presenta deficiencia de oxígeno como resultado de un exceso de agua.

Los humedales se consideran como un ecosistema el cual conjunta una enorme variedad de tipos de vegetación y de comunidades vegetales con distinta composición, forma de vida y estructura.

La comunidad vegetal es una asociación de especies de plantas, con una composición peculiar, donde se presenta una especie dominante por la que se distingue.

A continuación se presentan algunas imágenes de tipos de vegetación y comunidades acuáticas que podemos encontrar en ecosistemas de humedal (Figura A13).

EL MANGLAR

El TULAR

EL POPAL

Figura A13. Ejemplos de comunidades acuáticas en humedales.

Estas plantas habitan diferentes sitios dentro del humedal y mantienen distintas formas de crecimiento. Las plantas acuáticas se agrupan a partir de sus formas de crecimiento y en apego a clasificaciones universalmente reconocidas. De manera breve se describen a continuación según Lot *et al.* (1999):

Hidrófita enraizada: arraigada al sustrato.

Emergente: mantiene sus estructuras reproductoras y la mayor parte de las vegetativas por encima del agua;

Sumergida: con todas sus partes vegetativas inmersas en el agua y las reproductoras pueden encontrarse sumergidas por encima de las superficie del agua o emergiendo;

De hojas flotantes: con sus hojas postradas sobre la superficie del agua, al igual que sus flores, aunque en ocasiones se levantan;
De tallos postrados: con estructuras vegetativas y reproductoras en tallos de tipo estolonífero que reptan o ascienden en la superficie del agua.

Hidrófita libre: no enraizada al fondo;
Flotadora: libremente sobre la superficie del agua se presentan sus estructuras vegetativas y reproductoras, y sólo las raíces se mantienen sumergidas;
Sumergida: generalmente con todas las estructuras vegetativas sumergidas y las reproductoras emergiendo ligeramente de la superficie del agua (Figura A14).

Una categoría más por Rader *et al.* (2001) son las leñosas, incluyendo árboles y arbustos. Un ejemplo sería: árboles de mangle, arbustos de *Mimosa pigra,* etc.

Figura A14. Formas de crecimiento de las plantas acuáticas Novelo, 2006.

Se han determinado 12 tipos de vegetación que se relacionan a los humedales:

1. Bosque de Galería
2. Manglar
3. Popal
4. Tular
5. Vegetación halófila
6. Vegetación de Petén
7. Selva de Galería

8. Selva baja perennifolia
9. Selva alta perennifolia
10. Selva mediana perennifolia y
11. Vegetación de dunas costeras

Utilizando este criterio de vegetación en conjunto con otros criterios más, se determinaron las posibles áreas de humedales a nivel nacional, para la realización del primer borrador del Mapa Nacional de Humedales. En el mapa de humedales potenciales son considerados como vegetación con posibilidades altas de encontrar un humedal y los dos últimos la Selva mediana perennifolia y Vegetación de dunas costeras el grupo de especialista los propuso también como vegetación donde posiblemente se pueden encontrar humedales.

Las plantas como elementos bióticos que indican los límites de humedales

Las especies vegetales acuáticas que constituyen a los tipos de vegetación y a las comunidades son diversas, pero coinciden en que éstas desarrollan estrategias anatómicas en sus tejidos que les permiten habitar ambientes acuáticos y lidiar con la falta de oxígeno. La formación de tejido de aerénquima y la producción de órganos especiales en raíces y tallos son algunas de las adaptaciones de las plantas acuáticas las cuales son fáciles de distinguir visualmente en campo e indican cualidades que permiten distinguirlas de las plantas que habitan en ecosistemas terrestres. Para Moreno *et al.* (2009) existen cuatro adaptaciones principales:

Raíces adventicias: se encuentran a nivel del tallo o tronco, su función es ayudar en el transporte de oxígeno y captación de nutrientes. Estas se desarrollan en un medio aerobio y contienen tejido de aerénquima.

Neumatóforos (raíces aéreas): son raíces epigeas que emergen de las horizontales y enterradas, contienen tejido esponjoso-aerénquima y un recubrimiento de lenticelas. Su tamaño es dependiente del nivel del agua de las mareas bajas y sobresalen siempre de este (Figura A15).

Figura A15. Neumatóforos Avicennia germinans. Laguna de Yavaros, Sonora.

Raíces en forma de zancos: crecen a partir de la zona baja de los tallos ramificándose hacia el sustrato. Están cubiertas de lenticelas para la difusión de oxígeno hacia la planta y el intercambio de bióxido de carbono y otros gases. Ayudan a obtener alimento y dan soporte a la planta adulta (Figura A16).

Figura A16. Raíces en forma de Zancos Bravaisia intergerrima. Cacaluta, Oaxaca.

Lenticelas: son pequeños poros localizados en tallos y raíces de la planta para la captación y difusión pasiva de oxígeno.

Adaptación de los tallos: los tallos pueden presentar adaptaciones como el engrosamiento de la base de este, formando contrafuertes que ocurren como respuesta a la inundación, incrementándose la aireación y el anclaje de la planta en sustratos inestables (Figura A17).

Figura A17. Ensanchamiento de los tallos o troncos Pachira aquatica. Cacaluta, Oaxaca.

Un factor importante que influye en la distribución de las plantas acuáticas en el humedal es el régimen hidrológico. Este determina una dinámica de gradientes de inundación espacio-temporal del área del humedal. De acuerdo al requerimiento hidrológico de las plantas existe un gradiente de tolerancia-intolerancia a la inundación, algunas plantas requieren estar en inundación: permanente, gran parte del tiempo, estacionalmente o son totalmente intolerantes.
En México Lot *et al.* (1993) y colaboradores plantean subdividir a las plantas acuáticas en tres grupos:

a) Estrictamente acuáticas. Estas plantas completan todo su ciclo de vida ya sea, totalmente sumergidas, emergiendo parcialmente del agua o flotando en la superficie. La mayoría no sobreviven fuera del agua, aún por periodos cortos de tiempo.

b) Subacuáticas. Son plantas que completan la mayor parte de su ciclo de vida a la orilla del agua, es decir en suelos saturados. Toleran un suelo seco o con menor humedad temporalmente, época durante la cual se reproducen.

c) Tolerantes. Completan la mayor parte de su ciclo de vida en un ambiente seco, sin embargo durante un periodo de tiempo corto, generalmente coincidiendo con el periodo de lluvias, están temporal y parcialmente inundadas. Esta categoría incluye un gran número de malezas que tienen amplios rangos de tolerancia, no solamente para grados de inundación, sino también para tipos de suelos y nutrientes.