



FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA

# **INFORME TECNICO CONSULTORES**

Institución Ejecutante  
**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

Nombre del Programa  
**CALIDAD DE AGUA DE RIEGO:  
MITIGACION Y PREVENCIÓN DE CONTAMINACION DE ORIGEN AGRICOLA**

Código  
**FIA-CO-V-2004-1-A-006**



## CONDICIONES Y PAUTA PARA LA PREPARACIÓN DEL INFORME TÉCNICO

### PROGRAMA DE CONSULTORES CALIFICADOS AÑO 2004

La Fundación para la Innovación Agraria (FIA) del Ministerio de Agricultura tiene la función de fomentar y promover la transformación productiva de la agricultura y de la economía rural del país. Para el cumplimiento de esta función proporciona financiamiento, impulsa y coordina iniciativas, programas o proyectos orientados a incorporar innovación en los procesos productivos, de transformación industrial o de comercialización en las áreas agrícola, pecuaria, forestal, agroforestal y dulceacuícola. En el marco de estos objetivos, FIA desarrolla actualmente cuatro líneas de acción fundamentales: Financiamiento a Proyectos de Innovación, Programas de Giras Tecnológicas y Consultores Calificados, Estrategias de Innovación por Rubro y elaboración y difusión de Información para la Innovación.

El objetivo de los Programas de Giras Tecnológicas y Consultores Calificados es estimular y fortalecer el aprovechamiento, por parte del sector productivo, del conocimiento tecnológico disponible en agricultura, mediante la captación de tecnologías innovativas desarrolladas en Chile y en el extranjero, su difusión en el país y la promoción de su adaptación y aplicación en los procesos productivos.

Se busca también favorecer la vinculación entre productores, empresarios, investigadores, profesionales y técnicos del sector agrario, con el fin de impulsar la incorporación de innovaciones tecnológicas, mejorando así la competitividad de la agricultura nacional. Este objetivo incluye todos los aspectos de la cadena de valor: los procesos productivos, agroindustriales, de gestión, comercialización, organización de los productores y otros.

Ambos programas funcionan bajo las modalidades de recepción de solicitudes por ventanilla abierta y convocatorias especiales.

Con la aprobación de las propuestas por parte de FIA, la Entidad Responsable de ésta adquiere entre otros los siguientes compromisos:

- Emitir y entregar los **informes Técnico y Financiero** en un plazo de 30 días después de realizada la última actividad de la consultoría.
- Difundir los resultados de acuerdo con las actividades de transferencia tecnológica comprometidas en la propuesta.
- Proporcionar a esta Fundación una copia de todo el material o documentación recopilado durante la actividad, incluyendo copia del material audiovisual.
- Comprometerse a participar en futuras actividades de difusión que FIA estime oportuno organizar, con el objetivo de difundir las experiencias y resultados obtenidos por el postulante y participantes.



Los informes deben ser presentados en disquete y en papel (tres copias) de acuerdo a los formatos establecidos por FIA, en la fecha indicada como plazo de vencimiento en el contrato firmado con la Entidad Responsable. En la eventualidad de que el compromiso antes señalado no se cumpla, **FIA procederá a ejecutar la garantía respectiva y tanto la Entidad Responsable como el grupo participante quedarán imposibilitados de participar en nuevas iniciativas apoyadas por los diferentes Programas e instrumentos de financiamiento de FIA.**

A continuación se entregan las instrucciones para la preparación del Informe Técnico del Programa de Consultores Calificados (nacionales e internacionales), con el propósito de guiar a la Entidad Responsable sobre el contenido a desarrollar en el informe y el formato de presentación de la información.



## CONTENIDO DEL INFORME TÉCNICO CONSULTORES CALIFICADOS

### 1. Antecedentes de la Propuesta

Título Calidad de agua de riego: Mitigación y prevención de contaminación de origen agrícola

Código FIA-CO-V-2004-1-A-006

Entidad Responsable Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola

Coordinador Diego A. Rivera Salazar

Nombre y Especialidad del Consultor Erick Roberto Bandala González. Tratamiento y Calidad de agua, Química del agua.

Lugar de Origen del Consultor (País, Región, Ciudad, Localidad) : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.

Lugar (es) donde se desarrolló la Consultoría (Región, Ciudad, Localidad) Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.

Fecha de Ejecución 1 al 15 de Septiembre de 2004

Proponentes: presentación de acuerdo al siguiente cuadro:

Nombre	Institución/Empresa	Cargo/Actividad	Tipo Productor (si corresponde)
1. Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola,	Universidad de Concepción		

Problema a Resolver: detallar brevemente el problema que se pretendía resolver con la ejecución de la propuesta, a nivel local, regional y/o nacional.

El desarrollo de una agricultura limpia requiere del cumplimiento de elevados requisitos de calidad impuestos por los mercados a los cuales apunta esta actividad. Para poder acreditar una actividad agrícola limpia, toda la cadena productiva debe cumplir con estos estándares de calidad.

Dos de los agentes patógenos que mas afectan la producción agrícola son las bacterias fecales y los nemátodos. Entre las desventajas que ocasiona para los productores el riego con aguas contaminadas con estos patógenos se pueden mencionar:

1. Baja en los rendimientos producto de la infección por nematodos.
2. Limitación para producir hortalizas de calidad para el mercados nacional.
3. Amenaza de restricciones en la producción de frutas regadas con agua contaminada con bacterias fecales.



#### 4. Peligro de enfermedades de los trabajadores agrícolas y peligro para la población rural.

La presencia de contaminantes de origen fecal en las aguas de riego es un hecho ampliamente conocido y discutido a nivel nacional. Un problema persistentemente encontrado en las zonas regadas del Valle Central de Chile es la presencia de organismos patógenos en las aguas de riego que limitan el desarrollo de prácticas limpias, obligando al productor a desechar esa idea o desinfectar el agua de riego.

En general la presencia de contaminación por bacterias fecales es mas frecuente en los canales derivados que atraviesan muchas propiedades agrícolas, encontrando a su paso fuentes de contaminación puntuales como descargas clandestinas de aguas servidas, o difusas como infiltraciones provenientes de crianza de animales. Sin embargo, el problema de contaminación fecal y por nemátodos en las aguas de riego es muy difícil de controlar y los agricultores constantemente enfrentarán el problema de desinfectar el agua.

Los sistemas de desinfección actualmente existentes presentan desventajas, tanto por la necesidad de utilizar productos químicos, como el cloro, o consumir energía, como el uso de microondas. Los procesos de tratamiento del agua contaminada están basados en procesos físicos, químicos y biológicos, en combinación o de manera unitaria. Los procesos biológicos son ambientalmente compatibles, pero la gran mayoría de los contaminantes orgánicos no son biodegradables.

En este proyecto se propone el desarrollo de un proceso alternativo de desinfección basado en el uso de revestimientos de canales que contengan fotocatalizadores, que al reaccionar con la luz solar, degradan materia orgánica e inorgánica y destruyen microorganismos, desinfectando el agua de riego; teniendo impactos mínimos en el ambiente. Este proceso se llama fotocátalisis y el producto químico fotocatalizador. En consecuencia, el objetivo de esta consultoría es el análisis y desarrollo preliminar de un proceso de desinfección innovador, fácil de utilizar, bajo costo de operación y amigable con el medio ambiente que permitan asegurar el desarrollo de sistemas de producción limpia en la agricultura de riego.

#### Objetivos de la Propuesta

##### Objetivos Generales (técnicos y económicos)

Difundir y captar nuevos conocimientos en la aplicación de fotocátalisis heterogénea a problemas de calidad de agua usada en la agricultura, dentro del marco de la agricultura limpia y de calidad.

Desarrollar a nivel preliminar un proyecto de sistemas de desinfección de aguas de riego de bajo costo que permita cumplir con los requisitos de calidad impuestos por los mercados internos y externos, aumentando la competitividad y rentabilidad de los productores.



### Objetivos Específicos (técnicos y económicos)

- 1.- Difundir las aplicaciones de la fotocatalisis a la agricultura.
- 2.- Capacitar a agricultores, profesionales y técnicos en temas relacionados con la calidad de agua para riego.
- 3.- Desarrollar y analizar preliminarmente un sistema de desinfección de aguas de riego usando fotocatalizadores activados por luz solar para presentar en el Concurso de Innovación Agraria 2005, que corrija las observaciones presentadas por FIA.

**2. Antecedentes Generales:** describir aspectos de interés y cifras relevantes del país o región de origen del consultor, con énfasis en la situación agrícola y la situación del rubro que aborda la propuesta en particular (no más de 2 páginas).

Mientras que la disponibilidad per capita de agua en Europa es 8576 m<sup>3</sup>, 15369 m<sup>3</sup> en Estados Unidos y Canadá y 5488 m<sup>3</sup> en África, en México el promedio anual es de únicamente 4986 m<sup>3</sup>. La cobertura nacional de sistemas sanitarios es de apenas 73% y este valor decrece a 50% en algunas regiones aisladas. Cada año, se generan 6.5 millones de metro cúbicos de agua residual y solamente 21% de esta agua es tratada, lo que ha producido contaminación generalizada del agua superficial y subterránea en todo el país. La principal causa de esta contaminación son las descargas industriales, el uso excesivo de agroquímicos y la descarga de agua residual doméstica (INEGI, 2000).

Uno de los principales retos a los que se enfrenta México, como en muchos otros países en desarrollo es la contaminación del agua, especialmente la microbiana, que induce problemas de salud, sociales y económicos, por las enfermedades de origen hídrico que acarrea. En este sentido, la carencia de agua microbiológicamente segura representa un acuciante riesgo para la salud. En Chile Claret et al (2000) analizaron muestra tomadas en 89 pozos en Parral (VII Región), de los cuales todos sobrepasaban el límite establecido por la Normativa Chilena para consumo humano y un 12% sobre pasaba el límite para riego. En la cuenca del río Chillán el Centro EULA de la Universidad de Concepción realizó un estudio donde se encontró que la contaminación por bacterias fecales es uno de los problemas mas serios de la cuenca (EULA 2002).

Dentro de una economía globalizada, la agricultura debe competir con otras actividades productivas que son más eficientes económicamente, aunque no necesariamente más eficientes en su uso y calidad. Frente a los nuevos desafíos y restricciones que se aplican a los productos, como por ejemplo la homologación de los protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas<sup>1</sup> (BPA's), los problemas asociados al uso del agua nos llevan a la necesidad de considerar la calidad del agua como un bien económico, lo que a su vez implica la prevención, mitigación y remediación de las contaminación de los Recursos Hídricos.

El consultor contactado es un experto en las áreas de química del agua y de desinfección y contaminación del agua mediante procesos avanzados de oxidación, donde se incluye la fotocatalisis heterogénea solar. Sin embargo, aún cuando el consultor no es un experto en temas agrícolas, ha dispuesto su experiencia en favor del desarrollo de una tecnología de desinfección de aguas de riego que asegure un nivel de calidad que permita el ingreso de productos agrícolas a los exigentes mercados europeos, asiáticos y norteamericanos.

---

<sup>1</sup> El protocolo ChileGAP está reconocido por el EUREPGAP desde el 6 de Octubre de 2004 ([www.eurep.org](http://www.eurep.org))



Las consideraciones técnicas en la aplicabilidad de esta tecnología radica en la ausencia de reportes de aplicación de procesos avanzados de oxidación a la desinfección de aguas de riego, aún cuando ha sido probada y comprobada su aplicabilidad en otras actividades productivas, en especial en desechos industriales altamente contaminados.

Lo anterior nos lleva al convencimiento, avalado por la opinión del consultor, que es posible desarrollar mediante investigación aplicada e ingeniería, una tecnología probada en otras actividades, que pueda ser aplicada a las condiciones agrícolas en Chile.

Además, los problemas de mitigación y prevención son parte fundamental de los objetivos propuestos en el plan estratégico de Ministerio de Agricultura<sup>2</sup>. Respecto a materias de innovación agraria, este documento señala que se formularán propuestas para la definición de políticas y acciones que favorezcan el desarrollo, captación y transferencia de conocimientos científicos y tecnológicos al sector productivo agrario y donde una de las dos iniciativas complementarias, considera el desarrollo de líneas de investigación en sanidad animal y vegetal, así como en higiene e inocuidad de alimentos. En relación a la agricultura limpia y de calidad, se señala como una de las acciones de fomento la orientación prioritaria de los diversos fondos del ámbito del Ministerio (FIA, Fondo SAG, Fondo de Promoción de Exportaciones Agropecuarias, entre otros) hacia actividades relacionadas a la calidad agropecuaria como fuente de competitividad. Los últimos avances en la fotocatalisis, la falta de aplicaciones a la agricultura, lo probado de los métodos y los problemas que se asocian a la producción limpia son coincidentes con los objetivos presentados en los lineamientos estratégicos

Frente a lo expuesto, el análisis de las técnicas de desinfección fotocatalítica y su aplicación a las condiciones nacionales de manejo, clima, suelos, métodos de riego y condiciones de mercado cada vez más exigentes llevan a la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan a la agricultura nacional cumplir con los requerimientos de calidad y medioambiente.

---

<sup>2</sup> Ministerio de Agricultura, "Una Política de Estado para la Agricultura chilena Período 2000-2010". Capítulo 4: La política sectorial: regulaciones e instrumentos, apartados 4.4.1: Innovación e investigación y 4.5.2: Regímenes regulatorios y fomento para la calidad. Disponible en [www.minagri.cl](http://www.minagri.cl) (visita 4 de mayo de 2004)



3. Itinerario desarrollado por el Consultor: presentación de acuerdo al siguiente cuadro:

Fecha	Ciudad y/o Localidad	Institución/Empresa	Actividad Programada	Actividad Realizada
2/10 al 4/10	Chillán	Departamento de Recursos Hídricos	Reuniones diarias de trabajo entre consultor e investigadores	Reuniones diarias de trabajo entre consultor e investigadores
6/10 al 9/10	Chillán	Auditorio Facultad de Ingeniería Agrícola, UdeC Campus Chillán	Curso de Calidad de Aguas	Curso de Calidad de Aguas
9/10	Chillán	Auditorio Facultad de Ingeniería Agrícola, UdeC Campus Chillán	Seminario de Tecnologías de desinfección de aguas <sup>1</sup>	Seminario de Tecnologías de desinfección de aguas
9/10	Chillán	Departamento de Recursos Hídricos	Reunión de trabajo con profesionales de la Dirección General de Aguas, Comisión Nacional de Riego, INIA-Quilamapu, Servicio Agrícola y Ganadero, profesionales e investigadores <sup>2</sup>	No se realizó
10/10	Chillán	Departamento de Recursos Hídricos	Reunión de trabajo entre consultor e investigadores	Reunión de trabajo entre consultor e investigadores
11/10	Chillán	Cuenca del Río Chillán	Visitas a terreno Estación San Carlos <sup>3</sup>	Visitas a terreno Capacitación técnicas de monitoreo <i>in situ</i>
13/10	Chillán	Departamento de Recursos Hídricos	Reunión de trabajo entre consultor e investigadores	Reunión de trabajo entre consultor e investigadores

<sup>1</sup> El Seminario de Tecnologías de Desinfección del Agua fue parte integrante del Curso de Calidad de Agua. Los expositores fueron el Dr. Erick Bandala, Consultor; Dr. Héctor Mansilla, Facultad de Ciencias Químicas, UdeC y el Ing. Diego Rivera del Departamento de Recursos Hídricos, UdeC.

<sup>2</sup> Esta actividad no se realizó debido a que ninguna de las entidades invitadas confirmó su asistencia. La nómina de invitaciones cursadas se anexa al presente informe.

<sup>3</sup> Por razones de mejor aprovechamiento del tiempo, se decidió estudiar en terreno la hidrología del Río Chillán, desde la Cordillera de los Andes hasta la zona de Chillán. Durante esta visita se realizó un entrenamiento por parte del Dr. Erick Bandala al Dr. José Luis Arumí y al Ing. Diego Rivera sobre técnicas de medición en terreno.



**4. Resultados Obtenidos:** descripción detallada de las tecnologías conocidas (rubro, especie, tecnología, manejo, infraestructura, maquinaria, aspectos organizacionales, comerciales, etc.) y de la tendencia o perspectiva de dichas tecnologías en su lugar de origen. Explicar el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos, de acuerdo a los resultados obtenidos. Incorporar en este punto fotografías relevantes que contribuyan a describir las tecnologías.

Los resultados obtenidos a través de la ejecución de esta consultoría pueden ser separadas en dos componentes:

- Propuesta de Proyecto a presentar al Fondo de Innovación Agraria. Como se menciona anteriormente, uno de los objetivos específicos de la propuesta fue la corrección y reformulación de las deficiencias y observaciones detectadas del proyecto DESARROLLO DE UN PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS DE RIEGO UTILIZANDO FOTOCATALIZADORES ACTIVADOS CON LA LUZ SOLAR presentado al concurso de Proyectos de Innovación Agraria el año 2003. A Través de las reuniones de trabajo, se subsanaron los problemas relacionados con las técnicas de inmovilización del dióxido de titanio y se eligió el material que servirá de soporte. Además, se analizaron los aspectos relacionados al diseño hidráulico y modelación de los procesos (e.g. uso de redes neuronales o análisis multivariado para la generación de variables de diseño). Todo lo anterior permitió reformular el proyecto original, acotar los objetivos y definir las etapas metodológicas. De esta manera, el grado de cumplimiento para este objetivo es la totalidad.
- Capacitación y socialización. La calidad del agua de riego y su importancia en la actividad agrícola es un tema latamente discutido. Sin embargo, aspectos técnicos relacionados con la modelación, muestreo y análisis de datos no son manejados o actualizados por profesionales, estudiantes y productores del sector. Por lo anterior, el curso de calidad de aguas permitió a los asistentes ampliar y actualizar sus conocimientos respecto a los requerimientos de la calidad del agua de riego, en especial en tópicos relacionados con la química del agua y técnicas analíticas. El seminario de Técnicas de desinfección permitió dar a conocer una técnica probada en otras actividades productivas, generándose una discusión respecto a la necesidad de investigación aplicada que permita modelar, simular, diagnosticar, prevenir y mitigar la contaminación de origen agrícola en los recursos hídricos. La difusión y discusión de estos temas generan posibles soluciones y articulan esfuerzos entre instituciones relacionadas a los recursos hídricos y a la actividad agrícola. Si bien la asistencia en número fue alta, el grado de cumplimiento de los objetivos relacionados con la difusión puede sólo considerarse satisfactorio, debido a la escasa diversidad de representantes institucionales.

**5. Aplicabilidad:** explicar la situación actual del rubro en Chile (región), compararla con la tendencias y perspectivas de su lugar de origen y explicar la posible incorporación de las tecnologías capturadas, en el corto, mediano o largo plazo, los procesos de adaptación necesarios, las zonas potenciales y los apoyos tanto técnicos como financieros necesarios para hacer posible su incorporación en nuestro país (región).

Debido a que el objetivo de la propuesta es el desarrollo de una nueva tecnología aplicable al sector agrícola, no es posible comparar las tecnologías respecto a sus origen y sus aplicabilidad en Chile. Sin embargo, si es posible analizar la aplicabilidad de esta



tecnología en el sector agrícola respecto a la utilización de procesos fotocatalíticos en la industria.

Las técnicas de desinfección y descontaminación del agua y efluentes tienen como referente la Plataforma Solar de Almería, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)<sup>3</sup>, España. Dentro de aplicaciones de la fotocatalisis, pueden mencionarse la desinfección de aguas para bebida y uso doméstico en comunidades rurales y alejadas, degradación de arsénico en aguas contaminadas, degradación de residuos derivados de la industria de la celulosa, degradación de plaguicidas y antibióticos, entre otros. Si se considera además la amplia y rigurosa literatura técnica y revistas especializadas, las tecnologías fotocatalíticas han probado su eficiencia y eficacia.

Dado lo anterior, la consultoría ha permitido definir una propuesta de proyecto que incluye la aplicación de estas tecnologías en las aguas de riego, realizando investigación aplicada e ingeniería. La adaptación de la fotocatalisis a la producción agrícola dependerá del estudio de las condiciones de manejo de los cultivos y variables ambientales, volúmenes involucrados y diseño de prototipos. Las condiciones técnicas consideran el estudio de las técnicas de inmovilización, vida útil, eficiencia y diseño hidráulico de los dispositivos. Respecto a las potencialidades, en el ámbito técnico el desarrollo de esta tecnología permitirá disminuir los costos de desinfección del agua de riego, comparado con procesos físicos o químicos, además de la disminución de los costos de mantención de estos equipos. La combinación de procesos fotocatalíticos y procesos biológicos tiene bajos costos de operación, son eficientes y amigables ambientalmente. Las potencialidades económicas se asocian a la reducción de costos de producción y el valor agregado de la certificación de la calidad del agua, en especial si es tratada con métodos ambientalmente sustentables.

#### 6. Contactos Establecidos: presentación de acuerdo al siguiente cuadro:

Institución/Empresa	Persona de Contacto	Cargo/Actividad	Fono/Fax	Dirección	E-mail
Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)	Carlos Benavente Carmona	Jefe Oficina Bulnes	42-631096	Anibal Pinto 438, Bulnes	-

**7. Detección de nuevas oportunidades y aspectos que quedan por abordar:** señalar aquellas iniciativas detectadas durante la consultoría, que significan un aporte para el rubro en el marco de los objetivos de la propuesta, como por ejemplo la posibilidad de realizar nuevas consultorías, giras o cursos, participar en ferias y establecer posibles contactos o convenios. Indicar además, en función de los resultados obtenidos, los aspectos y vacíos tecnológicos que aún quedan por abordar para la modernización del rubro.

Respecto a los vacíos tecnológicos a abordar, el desarrollo de procesos eficientes y baratos de desinfección de aguas que se acoplen a otras tecnologías limpias, como la generación eléctrica mediante energía solar o eólica, biofiltros y otros permitirán a

<sup>3</sup> Para mayor información ver en <http://www.psa.es/> los proyectos SOLWATER: Cost effective solar photocatalytic technology to water decontamination and disinfection in rural areas of developing countries y FOTODETOX: Aumento de la biodegradabilidad y eliminación de contaminantes persistentes en efluentes acuosos mediante métodos de oxidación avanzada (fotocatalisis solar)



medianos agricultores tratar el agua de riego en la entrada al predio y las aguas que se desechan.

La implementación de esta tecnología estará fuertemente influenciada por el desempeño de los prototipos en terreno, donde deberá evaluarse su vida útil, métodos constructivos y métodos de mantención.

Por otro lado, experiencias en otros sectores productivos han mostrado la aplicabilidad de las tecnologías fotocatalíticas en el tratamiento de efluentes con contaminantes recalcitrantes u altamente tóxicos. Lo anterior se debe a la actividad no discriminantes de las reacción es con radicales libres y que abren una nueva área de investigación en el tratamiento de aguas ya utilizadas por la agroindustria e industrias de procesamiento de carnes

**8. Resultados adicionales:** capacidades adquiridas por el grupo o entidad responsable, como por ejemplo, formación de una organización, incorporación (compra) de alguna maquinaria, desarrollo de un proyecto, firma de un convenio, etc.

Considerando lo apretado de la agenda a cumplir y lo acotado de los objetivos planteados, no pueden mencionarse resultados tangibles.

Sin embargo, si es posible mencionarse que la ejecución de la propuesta permitió a los investigadores participantes actualizar y ampliar los conocimientos en el área de la calidad de aguas, en especial en los temas de calidad de agua y monitoreo en terreno.

**9. Material Recopilado:** junto con el informe técnico se debe entregar un set de todo el material recopilado durante la consultoría (escrito y audiovisual) ordenado de acuerdo al cuadro que se presenta a continuación (deben señalarse aquí las fotografías incorporadas en el punto 4):

Tipo de Material	N° Correlativo (si es necesario)	Caracterización (título)
Apuntes. Dr. Ing. Erick Bandala	1	Calidad de agua: Conceptos Fundamentales
Transparencias. Dr. Ing. Erick Bandala	2	Calidad de agua: Conceptos Fundamentales
Presentación Power point. Ing. Diego Rivera Salazar		Agua, Calidad de agua y riego
Presentación Power point. Dr. Ing. Erick Bandala		Desinfección fotocatalítica y desinfección solar del agua en México.
Presentación Power point. Dr. Héctor Mansilla		Fundamentos y aplicaciones de la fotocátalisis heterogénea



**10. Aspectos Administrativos**

10.1. Organización antes de la llegada del consultor

a. Conformación del grupo proponente

\_\_\_\_\_ muy dificultosa  sin problemas \_\_\_\_\_ algunas dificultades

(Indicar los motivos en caso de dificultades)

b. Apoyo de la Entidad Responsable

bueno \_\_\_\_\_ regular \_\_\_\_\_ malo

Las capacidades administrativas de la Universidad de Concepción permitieron que los aspectos logísticos fueran cubiertos de buena manera.

c. Trámites de viaje del consultor (visa, pasajes, otros)

bueno \_\_\_\_\_ regular \_\_\_\_\_ malo

d. Recomendaciones (señalar aquellas recomendaciones que puedan aportar a mejorar los aspectos administrativos antes indicados)  
Sin comentarios que hacer

10.2. Organización durante la consultoría (indicar con cruces)

Ítem	Bueno	Regular	Malo
Recepción del consultor en el país o región	x		
Transporte aeropuerto/hotel y viceversa	x		
Reserva en hoteles	x		
Cumplimiento del programa y horarios	x		
Atención en lugares visitados	x		
Intérpretes	No corresponde		

En caso de existir un ítem Malo o Regular, señalar los problemas enfrentados durante el desarrollo de la consultoría-gira, la forma como fueron abordados y las sugerencias que puedan aportar a mejorar los aspectos organizacionales de otras consultorías.

**11. Evaluación del consultor:** la contraparte nacional (grupo proponente) debe realizar una evaluación del consultor en términos de si constituyó un real aporte al conocimiento del rubro o tema de la propuesta en Chile (región). Evaluar su calidad profesional y técnica y su capacidad de interacción con los agentes del sector.

El Dr. Erick Bandala es un investigador reconocido en procesos de desinfección de aguas usando procesos avanzados de oxidación. La evaluación de la consultoría realizada se puede desagregar en:



- Reformulación y corrección proyecto FIA. Una vez analizado el proyecto rechazado, las opiniones y correcciones dadas por el Dr. Bandala permitieron iniciar un proceso de revisión que finalizó en la reformulación y acotamiento de objetivos, definición de etapas metodológicas y mejoramiento de procedimientos y técnicas de laboratorio para inmovilización del fotocatalizador. En los aspectos técnicos y profesional, el Dr. Bandala demostró su alta capacidad en la investigación, avalado por un serie de contactos y publicaciones.
- Interacción con los investigadores y asistentes. La facilidad de expresión, la experiencia en procesos fotocatalíticos y el pensamiento ingenieril del Dr. Bandala permitieron que los contenidos entregados fueran fácilmente asimilados por los investigadores y estudiantes.

En resumen, el Dr. Bandala pudo entregar información técnica de alta calidad de una manera clara y precisa, en función de la audiencia y del objetivo de las reuniones programadas.

**12. Informe del Consultor:** anexar un informe realizado por el consultor, con las apreciaciones del rubro en Chile (región), sus perspectivas y recomendaciones concretas para la modernización o mejoramiento de éste en el país y/o a nivel local (Anexo 1).

### 13. Conclusiones Finales

La ejecución del proyecto permite concluir que:

- La visita de Dr. Bandala permitió cumplir a cabalidad la reformulación y corrección de las observaciones hechas por la Fundación para la Innovación Agraria respecto a las deficiencias metodológicas del proyecto DESARROLLO DE UN PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS DE RIEGO UTILIZANDO FOTOCATALIZADORES ACTIVADOS CON LA LUZ SOLAR presentado al concurso de Proyectos de Innovación Agraria el año 2003.
- El proyecto reformulado, según la opinión del consultor, permite su repostulación a los fondos que correspondan.
- Las actividades de difusión permitieron la socialización y discusión de la importancia de la calidad del agua de riego en el éxito de la agricultura como actividad productiva de alto nivel.
- Existe la necesidad de investigar de manera aplicada la calidad del agua a través de modelación, desarrollo de técnicas de mitigación y remediación y desarrollo de instrumentos eficaces y eficientes de control.
- La falta de respuesta a la convocatoria por parte de instituciones públicas no permitió generar una discusión mas extensa y diversa.
- La invitaciones debieron ser cursadas con una mejor descripción que permitiera una relación más rápida entre las actividades de las instituciones y los temas tratados en el curso y seminarios

Fecha: 15/10/2004

Nombre y Firma coordinador de la ejecución: DIEGO RIVERA SALAZAR

AÑO 2004



**ASISTENTES A ACTIVIDAD DE DIFUSIÓN DE LA CONSULTORÍA**  
**Curso : Calidad de agua para riego: Conceptos fundamentales y mitigación de la contaminación**

FECHA: 6 al 10 de septiembre del 2004.

Nombre	Actividad	Institución o Empresa	Teléfono	Firma
ARANCIBIA MOLINA, JEANNETTE ANDREA	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
BARDOWICHS, KARIN	Estudiante Extranjera Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Hannover-Alemania	042-208804	
CAMPOS MUÑOZ, CRISTOBAL ALBERTO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
CARRASCO FONSECA, LUZ MARÍA	Académica Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	042-208853	
FLORES PACHECO, FABIOLA ALEJANDRA	Egresada Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
FUENTES MORALES, EDUARDO ALEJANDRO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
LABRAÑA GONZALEZ, LUIS FERNANDO	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
MATTA LAGOS, MARIANELA BERENICE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
MORALES BUSTAMANTE, ESTEBAN RODRIGO	Egresado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
OCAMPO RODRIGUEZ, MARGARITA ISABEL	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
ORELLANA VEGA, PABLINA ALEJANDRA	Egresada Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
ORREGO VELASQUEZ, XIMENA	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
PEREZ RODRIGUEZ, RAFAEL ESTEBAN	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
QUINTANA SOTOMAYOR, CARLOS FELIPE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	



RAMIREZ MOREIRA, MARILYN JANETH	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
RODRIGUEZ SILVA, MARIA ANTONIETA	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
SAAVEDRA SEPULVEDA, GUILLERMO	Académico Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	042-208853	
TRINGADO GALVEZ, JOVITA	Egresada Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
VEGA PONCE, EMIL CRISTHIAN	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
VILLAGRAN VARELA, SERGIO RAIMUNDO	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	



**ASISTENTES A ACTIVIDAD DE DIFUSIÓN DE LA CONSULTORÍA**  
**SEMINARIO : *Descontaminación de agua a través de procesos avanzados de oxidación***

FECHA: 9 de septiembre del 2004.

Nombre	Actividad	Institución o Empresa	Teléfono	Firma
ACUÑA, JOSE	Docente Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	042-208860	
ALARCON, FRANCISCO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
ARANCIBIA MOLINA, JEANNETTE ANDREA	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
BARDOWICHS, KARIN	Estudiante Extranjera Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Hannover-Alemania	042-208804	
BENAVENTE, CARLOS		SAG - Bulnes	042-631096	
CAMPOS, CRISTOBAL	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
CARRASCO FONSECA, LUZ MARIA	Académica Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	042-208853	
CUEVAS VALLE, OMAR		Particular	041-380313	
FLORES PACHECO, FABIOLA ALEJANDRA	Egresada Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
FUENTES M., EDUARDO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
GOUTUPIL, JORGE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
LABRAÑA GONZALEZ. LUIS FERNANDO	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
LINEROS S., PATRICIA		SAG - Concepción	041-228684	
LOPRADOS, MONICA		SAG - Bulnes	042-631096	



MALVERDE M., PATRICIO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
MATTA LAGOS, MARIANELA BERENICE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
MORALES BUSTAMANTE, ESTEBAN RODRIGO	Egresado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
OCAMPO RODRIGUEZ, MARGARITA ISABEL	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
ORELLANA VEGA, PABLINA ALEJANDRA	Egresada Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
ORELLANA, JORGE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
OYARCE V., LUIS	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
PEREZ R., RAFAEL	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
QUINTANA S., CARLOS	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
RAMIREZ MOREIRA, MARILYN JANETH	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
RAMIREZ R., FRANCISCO		SAG - Concepción	041-228684	
RODRIGUEZ SILVA, MARIA ANTONIETA	Estudiante Posgrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
SAAVEDRA SEPULVEDA, GUILLERMO	Académico Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	042-208853	
SAN MARTIN, ALVARO	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	
SILVA. SERGIO	Ing. Civil Agrícola	Dirección General de Aguas	041-228380	
USLAR. NICOLE	Estudiante Pregrado Facultad de Ing. Agrícola	Universidad de Concepción	042-208804	



## ANEXOS



Anexo 1: Informe Consultor

Chillán, 13 de septiembre del 2004.

Señora

**Margarita d'Eligny Lira**

Directora Ejecutiva

Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

Gobierno de Chile

Presente

Por este conducto hago constar que he colaborado, junto con el personal del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción, Campus Chillán en la preparación de la propuesta del proyecto DESARROLLO DE UN PROCESO DE DESINFECCION DE AGUAS DE RIEGO UTILIZANDO FOTOCATALIZADORES ACTIVADOS CON LA LUZ SOLAR, que será presentado al Concurso Nacional de Proyectos de Innovación Agraria de la Fundación para la Innovación Agraria del Gobierno de Chile (FIA).

Con respecto a la propuesta de proyecto antes mencionada, coincido totalmente con la opinión del FIA en cuanto a que ésta es muy interesante sobre todo por su posibilidad de aplicación práctica a mediano plazo. Durante las jornadas de mi estancia de trabajo en la Facultad, hemos conseguido afinar las oportunidades de mejora de la propuesta y concretar una nueva completamente reformulada con objetivos y metas bien delimitadas, una metodología específica clara con actividades detalladas y, lo más importante, alcances puntuales con el fin de reducir al máximo el riesgo del proyecto.

Por lo tanto, no puedo sino manifestar mi completo respaldo a esta iniciativa de investigación que servirá no solamente para el desarrollo de una línea nueva de investigación en fotocatalisis, sino también para la consolidación de un nuevo grupo de investigación en una interesante aplicación de este proceso de oxidación avanzada.

Sin otro particular, quedo a disposición para cualquier aclaración al respecto.



**Dr. Erick Bandala G.**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

P. Cuauhnáhuac 8532 Jiutepec, Morelos

62550 México

Email : ebandala@tlaloc.inta.mx

Tel/Fax : +527773293664



Anexo 2: Listas de fichas

Nº	NOMBRE	RUT	MATRICULA	NIVEL	EMPRESA ACTUAL	DIRECCION	FONO/FAX	CIUDAD	TITULO
1.	ARANCIBIA MOLINA, JEANNETTE ANDREA				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
2.	BARDOWICHS, KARIN								
3.	CAMPOS MUÑOZ, CRISTOBAL ALBERTO			Quinto	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Pregrado
4.	CARRASCO FONSECA, LUZ MARIA				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595		CHILLAN	Académica
5.	FLORES PACHECO, FABIOLA ALEJANDRA			Egresada	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	
6.	FUENTES MORALES, EDUARDO ALEJANDRO			Quinto	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Pregrado
7.	LABRAÑA GONZALEZ, LUIS FERNANDO				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
8.	MATTA LAGOS, MARIANELA BERENICE			Cuarto	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Pregrado
9.	MORALES BUSTAMANTE, ESTEBAN RODRIGO			Egresada	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	
10.	OCAMPO RODRIGUEZ, MARGARITA ISABEL				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
11.	ORELLANA VEGA, PABLINA ALEJANDRA			Egresada	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	
12.	ORREGO VELASQUEZ, XIMENA				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
13.	PEREZ RODRIGUEZ, RAFAEL ESTEBAN			Quinto	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Pregrado
14.	QUINTANA SOTOMAYOR, CARLOS FELIPE			Quinto	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Pregrado
15.	RAMIREZ MOREIRA, MARILYN JANETH				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
16.	RODRIGUEZ SILVA, MARIA ANTONIETA				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208853 042-270674	CHILLAN	Estudiante Posgrado
17.	SAAVEDRA SEPULVEDA, GUILLERMO ALFONSO				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208853 042-270674	CHILLAN	Académico
18.	TRINGADO GALVEZ, JOVITA			Egresada	Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	
19.	VEGA PONCE, EMIL CRISTHIAN				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado
20.	VILLAGRAN VARELA, SERGIO RAIMUNDO				Universidad de Concepción	Avda. Vicente Méndez 595	042-208804 042-275303	CHILLAN	Estudiante Posgrado



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	Marianela Benigna Matta Lago
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	4to
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

  
Firma



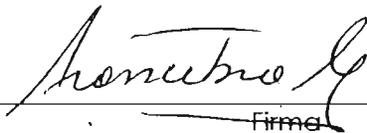
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	Jeanette Andrea Anunciado Uvalde
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

  
Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
"CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION"

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	Guillermo Alfonso Sarcodon Sepulveda
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<i>Juan María Carrasco Fonseca</i>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

*Juan Carrasco*  
Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	Karin Bardowichs
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

*Bardowichs*

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<i>Corvalán, Cristhian Vega Ponce</i>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	

Firma



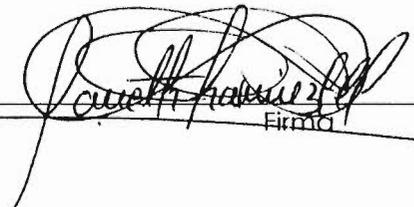
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<i>Janeth</i> <i>Marilyn Fea Paraiso Moreno</i>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	<i>Dosgrado</i>

  
Firma



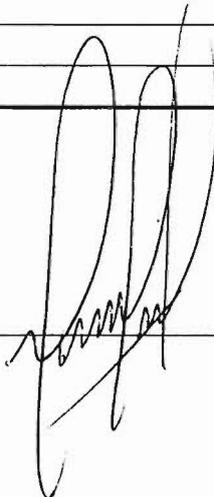
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
"CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION"

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<i>Diego Ferrnardo Latorre Gonzales</i>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	<i>Posgrado</i>

  
Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
"CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION"

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	Margarita Isabel Ocampo Rodríguez
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	
DIRECCION	
CIUDAD	
TITULO(S)	Posgrado

M Ocampo

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
**“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”**  
Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	QUINTANA SOTOMAYOR, CARLOS FELIPE
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

  
Firma



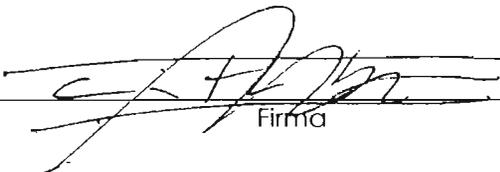
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<b>CAMPOS MUÑOZ, CRISTOBAL ALBERTO</b>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

  
Firma



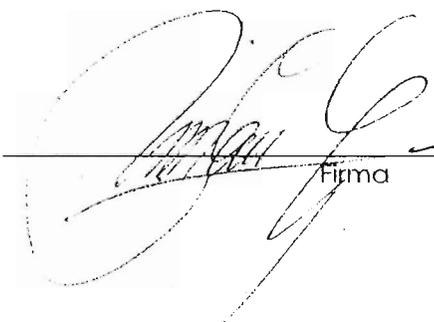
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	MORALES BUSTAMANTE, ESTEBAN RODRIGO
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

  
Firma



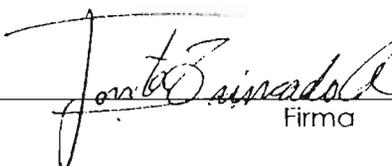
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
"CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION"

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	TRINGADO GALVEZ, JOVITA
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	<i>Cooperativa</i>
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

  
Firma



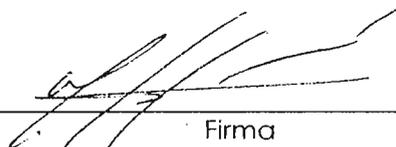
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	VILLAGRAN VARELA, SERGIO RAIMUNDO
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Posgrado



---

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	ORREGO VELASQUEZ, XIMENA
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Posgrado

Firma



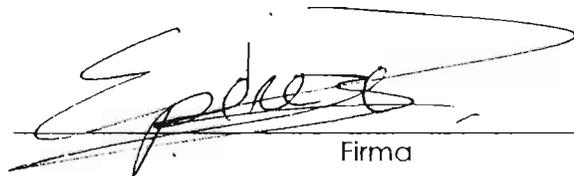
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“**CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION**”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<b>PEREZ RODRIGUEZ, RAFAEL ESTEBAN</b>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado



Firma



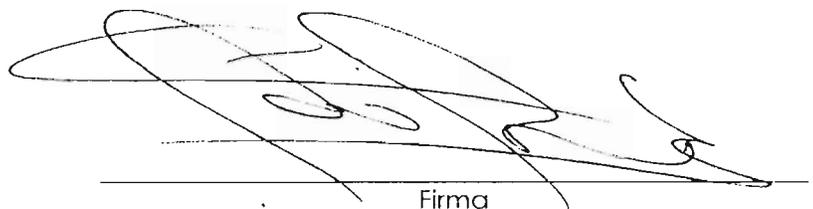
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
**“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”**

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	<b>FUENTES MORALES, EDUARDO ALEJANDRO</b>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado



Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

## FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	RODRIGUEZ SILVA, MARIA ANTONIETA
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Posgrado



---

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	ORELLANA VEGA, PABLINA <i>Pablina</i>
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	<i>Agua</i>
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

CURSO DE CAPACITACION  
“CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO:  
CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACION  
DE LA CONTAMINACION”

Chillán, 6 al 10 de septiembre del 2004.

FICHA DE INSCRIPCION

NOMBRE	FLORES PACHECO, FABIOLA ALEJANDRA
RUT	
MATRICULA	
NIVEL	Quinto <i>Equivalencia</i>
EMPRESA ACTUAL	Universidad de Concepción
DIRECCION	Avda. Vicente Méndez 595
CIUDAD	CHILLAN
TITULO(S)	Estudiante Pregrado

  
Firma



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

## SEMINARIO PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN

Chillán, 9 septiembre del 2004

### NOMINA DE ASISTENTES

Nº	NOMBRE	INSTITUCION	DIRECCION	CIUDAD	FONO
1.	NICOLE USUAR	UDEC			
2.	FCO. RAMIREZ R	S.A.G.-O/CCP	Angol 262 - Concep	Concep	228684
3.	PATRICIA LITERO S.				
4.	CARLOS BENJUNTE	SAG Bulnes	Antel Pto 438 Bulnes	Bulnes	42-63 1096
5.	ESTEBAN R. MORAN B	UDEC.			
6.	FABOLA FLORES P.	UDER			
7.	PAULINA OREJUNA	UDER			
8.	MARCELA LUYANES	SAG Bulnes	A. Pto 438 Bulnes	Bulnes	42-631 986
9.	Andrés Becerra Valle	Particular	Calle 3° Poniente N° 6549	Talcahuano	380313
10.	Jorge Drexler	UDAC			



Universidad de Concepción  
 Facultad de Ingeniería Agrícola  
 Departamento de Recursos Hídricos

11.	Francisco Alarcón	Udec.			
12.	Luis Oyarce V.	Udec.			
13.	PATRICIO MALVERDE M	Udec			
14.	CRISTÓBAL CAMPOS	Ude C.			
15.	Rafael Pérez R.	UdeC			
16.	Manuela Matla	Ude C.			
17.	SERGE GONTUPEL	U DE C.			
18.	Eduardo Fuentes M.	U De C.			
19.	Carlos Sainza S.	U de C			
20.	Alvaro San Martín	U de C.			
21.	SERGIO SILVA	DGA	Santiago 1062	Concepción	228380
22.	José Acuña	U de C	FAC de Agronomía	Chillan	8860
23.	Luz María Carrasco	U de C.	Fac de Agronomía		
24.	Guillermo Saavedra S	U de C	Fac. de Agronomía		8942
25.	Marilyn Smith Ramírez M	U de C			
26.	Luis Lasso G.	UdeC.			
27.	Jeanette Roncubun	UdeC			
28.	Margareta Ocampo	U de C			



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

29.	Karin Barolovichs	UdeC			
30.	Marta Rodríguez	UdeC			
31.	Ximena Barros V.	UdeC			
32.					
33.					
34.					
35.					
36.					
37.					
38.					
39.					
40.					



Anexo 3: Cartas invitación



**Universidad de Concepción**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

Campus Chillán, 31 de agosto del 2004.  
D.R.H. N°124

Señor (a)  
**Jaime Peña C.**  
Director Regional  
Servicio Agrícola y Ganadero  
Serrano 529, 2° piso  
FAX : 41 - 22 73 65  
CONCEPCION

De mi consideración :

El Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, tiene el agrado de invitar a usted al SEMINARIO **DESCONTAMINACIÓN DE AGUA A TRAVÉS DE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN** a realizarse el día 9 de septiembre, en el Auditorio Mario Ibáñez del Campus Chillán, de la Universidad de Concepción, a partir de las 9:00 horas.

Este seminario se enmarca dentro de las actividades contempladas en el proyecto *Calidad de agua de riego: Mitigación y prevención de contaminación de origen agrícola* financiada por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y cuenta con la participación del **Dr. Erick Bandala**, Investigador del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y otros destacados investigadores.

Además, queda abierta la invitación para asistir al CURSO **CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO: CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN**, del cual es parte integrante el seminario. Este curso es abierto para todo público y sin costo para los participantes.

Adjunto a usted programa del curso y agradeceré difundir esta información en su institución. Consultas al fono 42-208804 o al Prof. Diego Rivera S. ([dirivera@udec.cl](mailto:dirivera@udec.cl)).

Saluda atentamente a usted,

**Dr. José Luis Arumí R.**  
Director  
Departamento de Recursos Hídricos

/afy  
Cc. : correlativo 2004  
Incl. : lo indicado

*“Por el desarrollo libre del espíritu”*

Avda. Vicente Méndez 595 • Casilla 537 • Chillán-CHILE  
Fono : 56-42-208804-275315 • Fax : 56-42-275303 • Email : [drh@udec.cl](mailto:drh@udec.cl) • <http://www.ingenieriagricola.cl>



**Universidad de Concepción**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

# CURSO

## **CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO: CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN**

### PROFESOR (ES)

**Dr. ERICK BANDALA GONZÁLEZ**

- Doctor en Ingeniería. Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maestría en Química Orgánica. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca Morelos. México.
- Licenciatura en Ingeniería Química. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.
- Investigador Asociado C. Encargado del Laboratorio de Química Orgánica Ambiental. Laboratorio de Calidad del Agua. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. De 1993 a la fecha

### DESCRIPCIÓN

Este curso tiene por objetivo el entregar conceptos de calidad de agua que sean aplicables al análisis, mitigación y prevención de contaminación de aguas usadas en riego agrícola.

El curso se estructura en dos partes cuyos contenidos se adjuntan:

1. Conceptos fundamentales de calidad de agua como química del agua, parámetros de calidad y métodos de muestreo y análisis.
2. Descontaminación de aguas a través de procesos avanzados de oxidación.

<b>Fecha de inicio y término</b>	:	6 de septiembre al 10 de septiembre de 2004
<b>Nº de horas</b>	:	32
<b>Nº de créditos</b>	:	2
<b>Lugar y sala</b>	:	Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción, Campus Chillán



**Universidad de Concepción**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

- Horario** : Lunes, Martes y miércoles de 9:00 a 13:00 hrs. y 15:00 a 17:00 hrs.  
Jueves de 9:00 a 13:00 hrs.  
(seminario de procesos avanzados de oxidación)  
Viernes de 9:00 a 13:00 hrs.  
Las 7 horas restantes son completadas por los alumnos en trabajo personal
- Idioma** : Español



**Universidad de Concepción**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

## **CONTENIDOS**

### **I.- CALIDAD DEL AGUA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

#### **Introducción**

#### **1. Química Ambiental**

- 1.1 El ambiente
- 1.2 El impacto de los humanos en el ambiente
- 1.3 El impacto del ambiente en los humanos
- 1.4 Mejoramiento de la calidad ambiental

#### **2. Calidad del agua: definiciones y características**

- 2.1 Parámetros físicos
  - 2.1.1 Sólidos suspendidos
  - 2.1.2 Turbiedad
  - 2.1.3 Color
  - 2.1.4 Temperatura
- 2.2 Parámetros químicos
  - 2.2.1 Sólidos disueltos totales
  - 2.2.2 Alcalinidad
  - 2.2.3 Dureza
  - 2.2.4 Fluoruros
  - 2.2.5 Metales
  - 2.2.6 Orgánicos
  - 2.2.7 Nutrientes
- 2.3 Parámetros biológicos
  - 2.3.1 Patógenos
  - 2.3.2 Indicadores patogénicos

#### **3. Muestreo de parámetros de Calidad del Agua**

- 3.1 Determinaciones en campo
- 3.2 Muestreo simple
- 3.3 Muestreo compuesto
- 3.4 Preservación de muestras
- 3.5 Control de calidad en campo

#### **4. Análisis**

- 4.1 Aseguramiento de la calidad en laboratorio
- 4.2 Control de calidad en el laboratorio
- 4.3 Interpretación de resultados
- 4.4 Ejercicios de inter calibración



**Universidad de Concepción**  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos

**5. Legislación**

- 5.1 Legislación Mexicana
- 5.2 Legislación Chilena (Desarrollada por los alumnos del curso)

**6. Manejo de datos**

- 6.1 Índice de calidad del agua (ICA)
- 6.2 Parámetros involucrados en el ICA
- 6.3 Cálculo del ICA

**7. Conclusiones**

**II.- DESCONTAMINACIÓN DE AGUA A TRAVÉS DE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN**

1. Problemática de la contaminación del agua
2. Datos de contaminación del agua en México
3. Revisión de los procesos de tratamiento de agua
4. Procesos avanzados de oxidación
5. Procesos fotocatalíticos
  - 5.1 Fotocatálisis homogénea
  - 5.2 Fotocatálisis heterogénea
6. Aplicación de fotocatalisis a la degradación de plaguicidas
7. Aplicación de fotocatalisis a la degradación de otros contaminantes de importancia ambiental
8. Aplicación de fotocatalisis a la degradación de toxinas naturales
9. Aplicación de fotocatalisis en el control microbiológico del agua
10. Perspectivas
11. Conclusiones



Anexo 4: Nómima de instituciones a las cuales se envió carta invitación

NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	CIUDAD	FAX
Jaime Peña C.	Director Regional	Servicio Agrícola y Ganadero	Serrano 529, 2º piso	CONCEPCION	FAX : 41 - 22 73 65
Ramón Vera S.	Jefe Subrogante Oficina Chillán	Servicio Agrícola y Ganadero	Claudio Arrau 738-740	CHILLÁN	FAX : 22 26 30
Ramón Daza H.	Director Regional	Dirección General de Aguas	San Martín 1062, oficina 312	CONCEPCION	FAX : 41 - 52 36 10
Héctor González M.	Delegado Provincial	Dirección General de Aguas	Vegas de Saldías 651	CHILLAN	FAX : 22 32 47
Manuel Godoy I.	Director Regional	Dirección de Obras Hidráulicas	San Martín 1062, oficina 301	CONCEPCION	FAX : 41 - 21 87 93
Mauricio Melo A.	Delegado Provincial de Ñuble	Dirección de Obras Hidráulicas	Edificios Públicos s/n	CHILLAN	FAX : 21 87 93
Luis Santana O.	Director Depto. Ingeniería Civil	Universidad del Bío-Bío	Avda. Collao 1202	CONCEPCION	FAX : 41- 73 16 54
Patricia Arancibia-Avila	Depto. de Ciencias Básicas	Universidad del Bío-Bío	Avda. Andrés Bello s/n, Campus Fernando May	CHILLAN	FAX : 20 30 46
Bolívar Ruiz A.	Director Regional	Comisión Nacional de Medio Ambiente	Lincoyán 145	CONCEPCION	FAX : 41 - 79 17 78
Hernán Acuña P.	Director	CRI INIA-Quilamapu	Avda. Vicente Méndez 515	CHILLAN	FAX : 20 95 99
José María Peralta	Director	CRI INIA-Carillanca	Casilla 58-D	TEMUCO	FAX : 45 - 21 57 06
José Vargas B.	Depto. de Ingeniería Civil	Facultad de Ingeniería	Universidad de Concepción	CONCEPCION	FAX : 41 - 20 70 89
Peter Dechent A.	Director	Departamento Ingeniería Civil	Universidad de Concepción	CONCEPCION	FAX : 41 - 20 70 89
Guillermo Bustamante L.	Jefe Carrera, Ingeniería Civil	Universidad Católica de la Santísima Concepción	Alonso de Ribera 2850	CONCEPCION	FAX : 41 - 735300
Jorge Galgani A.	Coordinador Ofina Zonal Sur	Comisión Nacional de Riego	Claudio Arrau 161	CHILLAN	FAX : 22 45 76
Oscar Parra B	Director	Centro EULA	Universidad de Concepción	CONCEPCION	FAX : 41 - 20 70 76
Felicita Hevia .	Directora Depto. Agroindustria	Facultad de Ingeniería Agrícola	Universidad de Concepción	CHILLAN	
Gabriel Merino C.	Director Depto. Mecanización y Energía	Facultad de Ingeniería Agrícola	Universidad de Concepción	CHILLAN	
BARRERA BERROCAL, JUAN ALBERTO	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
ETCHEVERS BARRA, JORGE	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
STOLPE, NEAL BRIAN	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
SANDOVAL ESTRADA, MARCO	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
VIDAL PARRA, IVAN	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
SAAVEDRA SEPÚLVEDA, GUILLERMO	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
SANCHEZ VILLOUTA, HÉCTOR	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
SEPULVEDA SÁEZ, DAVID	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
ZAGAL VENEGAS, ERICK	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
DIAZ RUBILAR, ANGELIE	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
CARRASCO FONSECA, LUZ MARÍA	Departamento de Suelos	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
CAMPOS PARRA, JORGE	Departamento de Producción Animal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
WELLS MONCADA, GUILLERMO	Departamento de Producción Animal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
VELASCO, VALERIA	Departamento de Producción	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	

	Animal				
CERDA GONZALEZ, RAUL	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
HEPP GALLO, RUPERTO	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
SERRI GALLEGOS, HUMBERTO	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
VENEGAS VILLALOBOS, ALEJANDRO	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
WILCKENS ENGELBREIT, ROSEMARIE	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	
FISCHER GARZONE, SUSANA	Departamento de Producción Vegetal	Facultad de Agronomía	Universidad de Concepción	CHILLAN	



Anexo 5: Artículos de prensa

## Experto mexicano en riego dicta curso en Ingeniería Agrícola

Con el objeto de analizar la calidad del agua de riego utilizada por los agricultores y su importancia en la exportación de productos, el doctor en Ingeniería, Erick Bandala, se encuentra dictando un curso y una serie de charlas organizadas por la facultad de Ingeniería Agrícola. El especialista mexicano explicó que los niveles de contaminación de las aguas determinan la calidad de los productos, por lo que lograr establecer los índices de partículas contaminantes existentes y diseñar métodos de limpieza es un desafío para los agricultores. Para el coordinador del curso y docente de la facultad de Ingeniería Agrícola, Diego Rivera, "ésta es una posibilidad de realizar intercambios tecnológicos y avances en la forma que mejoramos la calidad del agua que utilizamos para riego...si las exigencias medioambientales

internacionales no se cumplen, en un futuro no muy lejano podrían paralizarse las exportaciones de productos agrícolas y dejarlos fuera del sistema económico". Durante la semana, Bandala ha dictado cursos que tienen como objetivo entregar conceptos aplicables al análisis, mitigación y prevención de contaminación de aguas usadas en riego agrícola, sumado al estudio y análisis de la descontaminación a través de avanzados procesos de oxidación.



FRANCISCO MARTINEZ

# La Discusión

Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Decanato  
Avda. Vicente Méndez N° 595

http://ladiscusion.cl

Chile, jueves 9 de septiembre de 2004

Año CXXXV, N° 43.894

Edición de 20 páginas

\$ 200 (atrasado \$ 300)

Universidad de Concepción

## Experto mexicano en riego dicta curso en I. Agrícola



Doctor en Ingeniería y experto en recursos hídricos, Erick Bandala.

Con el objeto de analizar la calidad del agua de riego utilizada por los agricultores y la importancia que este factor tiene para la

exportación de productos, el doctor en Ingeniería, Erick Bandala, se encuentra dictando un curso, además de una serie de charlas, organizadas por la Facultad de Ingeniería Agrícola.

El especialista mexicano explicó que los niveles de contaminación presentes en el agua determinan la calidad de los productos, por lo que lograr establecer los índices de partículas contaminantes existentes y diseñar nuevos métodos de limpieza es uno de los desafíos que los pequeños, medianos y grandes agricultores deben enfrentar.

Para el coordinador del curso y docente de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Diego Rivera, "esta es una posibilidad de realizar intercambios tecnológicos y avances en la forma que mejoramos la calidad del agua que utilizamos para riego. Es uno de los temas que nos preocupa, porque si las exigencias medioambientales internacionales no logran ser cumplidas, en un futuro no muy lejano podrían paralizarse las exportaciones de productos agrícolas y dejarlos fuera del sistema económico.

Durante toda la semana, el experto mexicano ha dictado cursos que tienen como objetivo entregar conceptos aplicables al análisis, mitigación y prevención de contaminación de aguas usadas en riego agrícola. Hoy, de 9 a 13 horas, Bandala participará del seminario sobre estudio y análisis de la descontaminación a través de avanzados procesos de oxidación.



Anexo 6: Apuntes entregados



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Departamento de Recursos Hídricos



## CALIDAD DEL AGUA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Erick R. Bandala, Adriana D. Sánchez-López

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac  
8532. Jiutepec, Morelos. 62550 México. Tel/Fax: +527773293664 e-  
mai: [ebandala@tlaloc.imta.mx](mailto:ebandala@tlaloc.imta.mx)

Fundación para la Innovación Agraria. Avda. Santa María 2120,  
Providencia, Santiago.

## ÍNDICE

### Introducción

#### **1 Química Ambiental**

- 1.1 El ambiente
- 1.2 El impacto de los humanos en el ambiente
- 1.3 El impacto del ambiente en los humanos

#### **2. Calidad del agua: definiciones y características**

- 2.1 Parámetros físicos
  - 2.1.1 Sólidos suspendidos
  - 2.1.2 Turbiedad
  - 2.1.3 Color
  - 2.1.4 Temperatura
- 2.2 Parámetros químicos
  - 2.2.1 Sólidos disueltos totales
  - 2.2.2 Alcalinidad
  - 2.2.3 Dureza
  - 2.2.4 Fluoruros
  - 2.2.5 Metales
  - 2.2.6 Orgánicos
  - 2.2.7 Nutrientes
- 2.3 Parámetros biológicos
  - 2.3.1 Patógenos
  - 2.3.2 Indicadores patogénicos

#### **3 Muestreo de parámetros de Calidad del Agua**

- 3.1 Determinaciones en campo
- 3.2 Muestreo simple
  - 3.2.1 Muestreo en corrientes
  - 3.2.2 Muestreo en lagos lagunas y embalses
- 3.3 Muestreo compuesto
- 3.4 Preservación de muestras
- 3.5 Control de calidad en campo

#### **4. Análisis**

- 4.1 Aseguramiento de la calidad en laboratorio
- 4.2 Control de calidad en el laboratorio
- 4.3 Interpretación de resultados
- 4.4 Ejercicios de intercalibración

#### **5. Legislación**

- 5.1 Legislación Mexicana
- 5.2 Legislación Chilena (Desarrollada por los alumnos del curso)

## **6 Manejo de datos**

6.1 Índice de calidad del agua (ICA)

6.2 Parámetros involucrados en el ICA

6.3 Cálculo del ICA

## Introducción

### 1. Química Ambiental

#### 1.1 El ambiente.

De manera simple, el ambiente puede ser definido como nuestro entorno. En términos de ingeniería ambiental, donde se requiere una definición más específica, la palabra ambiente puede tomar dimensiones globales, puede referirse a un área muy localizada en la cual se puede suscitar un problema específico o bien puede, en el caso de ambientes confinados, referirse a un pequeño volumen de material líquido, gaseoso o sólido en el reactor de una planta de tratamiento.

El ambiente global consiste en la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera en las cuales se contienen todos los recursos que mantienen la vida en la Tierra. La atmósfera, una mezcla de gases que se extiende más allá de la superficie del planeta, incluye los elementos de la Tierra que han sido gasificados durante su formación y metamorfosis. La hidrósfera contiene los océanos, lagos y corrientes de agua así como los cuerpos de agua subterránea. La litósfera es el manto sólido en que se desarrolla toda la actividad humana y que llega hasta el centro de nuestro planeta.

La biosfera, una delgada capa que rodea la tierra, esta constituida de la atmósfera y la litósfera adyacente a la superficie de la tierra junto con la hidrósfera. Es dentro de la biosfera que se desarrollan las formas de vida incluyendo a los humanos. Los materiales que sustentan la vida en forma gaseosa, líquida o sólida son ciclados a través de la biosfera para proveer de lo necesario para el sustento de la vida. Estas sustancias necesarias para la vida –aire, alimentos y agua- son retirados de la biosfera. También hacia esta esfera ambiental es que se descargan los residuos ya sea de forma líquida, sólida o gaseosa. Desde el principio del tiempo, la biosfera ha recibido y asimilado los residuos generados por la vida animal y vegetal. Los sistemas naturales han sido siempre activos, dispersando humo de los incendios forestales, diluyendo residuos animales descargados a ríos y corrientes y convirtiendo los restos de generaciones pasadas de plantas y animales en suelo fértil y listo para soportar a la población futura.

Para cada acto natural de contaminación, para cada alteración indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente, para cada incidente que repercutiera en el ambiente local siempre se generaron acciones que restauraron la calidad original. Hasta años recientes siempre se consideró que la capacidad de asimilación de la biosfera era tremenda, por no decir infinita. Sin embargo, este sistema que ha operado por millones de años ha empezado a mostrar signos de perturbación principalmente por causa del impacto de los humanos sobre el ambiente.

## 1.2 El impacto de los humanos sobre el ambiente.

De forma natural, las distintas formas de vida conviven en equilibrio con el ambiente. El número y actividades de cada especie se encuentra gobernado por los recursos disponibles. La interacción entre las especies es común, donde los residuos generados por algunas formas son el suplemento de alimentos para otras. Los seres humanos son la única especie que ha tenido la habilidad para convertir recursos provenientes de más allá de sus alrededores inmediatos y convertirlos en formas diferentes y más versátiles. Estas habilidades han hecho posible para la población humana crecer por arriba de límites naturales. Sin embargo, los desechos naturales y manufacturados generados y liberados en la biosfera por el gran número de seres humanos ha roto el equilibrio natural.

Los contaminantes antropogénicos, generados por humanos, han sobrecargado los sistemas. La sobrecarga ha venido relativamente tarde en el curso de la interacción humana con el ambiente, quizá por que las primeras civilizaciones estaban preocupadas por cumplir con las necesidades naturales, necesidades que son compartidas en común con la mayoría de los mamíferos superiores.

Las primeras civilizaciones usaron recursos naturales para satisfacer sus necesidades. Esos recursos naturales se encontraban disponibles en la biosfera y los residuos generados por el uso de estos recursos fueron generalmente compatibles con, o asimilados por, el ambiente. Los humanos primitivos comían plantas y alimentos animales sin la generación de, por ejemplo, humo producido durante la cocción de los alimentos. Aún cuando el uso del fuego fue más común, la cantidad relativamente pequeña de humo generada era fácil y rápidamente dispersado y asimilado por la atmósfera.

Las primeras civilizaciones a menudo bebían de los mismos ríos en los cuales descargaban sus residuos ya que los mecanismos de auto-restauración eran capaces de reestablecer la calidad del agua. Sólo cuando los pequeños establecimientos humanos empezaron a reunirse en grupos más grandes y más estables fue que su impacto sobre el ambiente local empezó a ser significativo.

## 1.3 El impacto del ambiente sobre los humanos.

Muchos elementos del aire, el agua y el suelo pueden hospedar agentes biológicos y químicos dañinos que impactan la salud de los humanos. Un amplio rango de enfermedades contagiosas pueden ser descargadas en el ambiente por desechos humanos o animales. Esto es más claramente evidenciado por las plagas que se desarrollaron durante la Edad Media. En esta época las enfermedades eran transmitidas por ratas que se alimentaban con residuos sólidos y desechos humanos. Las enfermedades causadas por parásitos presentes en el agua diezmaron la población de Europa.

Ha sido apenas hasta el último siglo que se ha establecido correlación entre agentes biológicos presentes en el agua y algunas enfermedades humanas y

además se han tomado medidas preventivas de control. A través de programas de inmunización y control ambiental se ha podido eliminar las principales enfermedades transmitidas vía el ambiente en naciones desarrolladas. Sin embargo, ningún país se encuentra totalmente inmune de este tipo de enfermedades hidrotansmisibles. La transmisión de virus y protozoos ha resultado particularmente difícil de controlar por lo que aún se presentan lapsos en los que se generan epidemias menores de este tipo de enfermedades hidrotansmitidas.

Otro problema ambientalmente relacionado es generado por la presencia de compuestos químicos. El amplio uso de productos químicos en la agricultura y la industria ha causado la introducción de muchos compuestos nuevos en el ambiente. Algunos de esos compuestos han sido difundidos en pequeñas cantidades en el ambiente mientras que otros han sido concentrados en sitios de disposición. Estos compuestos químicos pueden dispersarse a través del aire, agua, suelo así como también a través de la cadena alimenticia y de esta forma llegar potencialmente a los seres humanos.

Un ejemplo de este tipo de compuestos es el plaguicida DDT, el cual fue extensivamente utilizado durante las décadas de mediados del siglo pasado para el control de la malaria en muchas regiones del mundo. Adicionalmente, este plaguicida fue utilizado para el control de plagas de insectos en alimentos y plantas. Su uso benéfico para los seres humanos fue aclamado ampliamente y su promotor, Paul Muller, galardonado con el Premio Nobel en 1958. No obstante, investigación posterior mostró que el DDT es una toxina que se acumula en casi todos los organismos vivientes en todo el mundo, incluyendo humanos. No obstante que el uso de DDT está ahora prohibido en naciones como los Estados Unidos de América o en varios países europeos, este compuesto es aún manufacturado principalmente para su uso en países en vías de desarrollo, particularmente en zonas tropicales.

## **2. Calidad del agua.**

### **2.1 Definiciones y características.**

La disponibilidad de agua adecuada tanto en términos de calidad y cantidad, es esencial para la existencia humana. Los primeros seres humanos reconocían la importancia del agua desde el punto de vista de su cantidad. Las civilizaciones se desarrollaron alrededor de los cuerpos de agua que eran capaces de suplir agua para las actividades agrícolas y la transportación así como suplir agua para consumo. La conciencia de la importancia de la calidad del agua se desarrolló más lentamente. Los primeros humanos podían juzgar la calidad del agua solamente a través de los sentidos del olfato, gusto y a través de su aspecto. No fue sino hasta que se desarrollaron métodos biológicos, físicos y químicos que fue posible determinar la calidad del agua y determinar su efecto sobre la salud humana y el bienestar.

Como todas las ciencias, la referente a la calidad del agua ha desarrollado su propia terminología y el medio para cuantificar esos términos. El propósito de esta sección es introducir al lector en los conceptos de calidad del agua.

## 2.2 Parámetros físicos.

Los parámetros físicos definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, gusto, tacto u olfato. Las propiedades más importantes que incluye esta categoría son sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

*2.2.1 Sólidos suspendidos.* Como se mencionó antes, los sólidos pueden dispersarse en agua tanto en forma suspendida como disueltos. No obstante que algunos sólidos disueltos pueden ser percibidos por los sentidos, este parámetro es considerado más apropiadamente como un parámetro químico.

Los sólidos suspendidos en agua pueden consistir en partículas orgánicas e inorgánicas o de líquidos inmiscibles. Los sólidos inorgánicos como la arena, arcilla y otros constituyentes del suelo son comunes en agua superficial. La materia orgánica como fibras de plantas y sólidos biológicos (células de algas, bacterias) son también constituyentes comunes de agua superficial. Estos materiales son contaminantes naturales resultantes de la acción erosiva del agua que fluye sobre la superficie. Debido a la capacidad filtrante del suelo, el material suspendido es un constituyente poco común en agua subterránea.

El material suspendido es antiestético y provee sitios de adsorción para agentes químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos orgánicos pueden ser degradados biológicamente, resultando en subproductos no deseables. Sólidos suspendidos biológicamente activos (vivos) pueden incluir organismos causantes de enfermedades así como organismos productores de toxinas de algas.

Existen varios métodos disponibles para la medición de sólidos. Muchos son pruebas gravimétricas que involucran la medición de masa del residuo. La prueba de sólidos totales cuantifica todos los sólidos en el agua, suspendidos y disueltos, orgánicos e inorgánicos. Este parámetro es medido evaporando una muestra de agua a sequedad y pesando el residuo. La cantidad total de residuo es expresada como miligramos por litro (mg/L) de masa de sólidos en base seca. Una temperatura ligeramente superior a la de ebullición (104°C) es usualmente suficiente para evaporar el líquido y el agua adsorbida a la superficie de las partículas.

Muchos sólidos suspendidos pueden ser removidos del agua por filtración. Así, la fracción suspendida de los sólidos en una muestra de agua puede ser aproximada filtrando el agua, secando el residuo y filtro hasta peso constante a 104° C y determinando la masa del residuo retenido en el filtro. Debe ser enfatizado que la filtración de una muestra de agua no divide exactamente los sólidos en suspendidos y disueltos de acuerdo con la definiciones presentados antes. Algunos coloides pueden pasar a través del filtro y ser medidos junto con la

fracción disuelta mientras que algunos sólidos disueltos pueden ser adsorbidos al material filtrante. La frecuencia con que esto ocurre depende del tamaño y la naturaleza de los sólidos y del tamaño de poro y otras características superficiales del material filtrante. Por esta razón se utilizan a menudo los términos residuos filtrables y no filtrables. Los residuos filtrables pasan a través del filtro junto con el agua y se encuentran más relacionados con los sólidos disueltos, mientras que los no filtrables son retenidos en el filtro y se encuentran más cercanamente relacionados con los sólidos suspendidos.

Una vez que las muestras se secan y miden, el contenido orgánico de ambos, sólidos suspendidos y totales puede ser determinado por calentamiento de la muestra hasta 600°C por 1 hora. La fracción orgánica de los residuos será convertida a dióxido de carbón, vapor de agua y otros gases y escapará. El material remanente representará el residuo fijo inorgánico.

*2.2.2 Turbiedad.* Una medición directa de los sólidos suspendidos no es usualmente realizada en muestras de cuerpos de agua o en fuentes de agua para consumo. La naturaleza de los sólidos en esas muestras y los efectos secundarios que producen son más importantes que la cantidad real. Para este tipo de agua es más común emplear una prueba de turbiedad. La turbiedad es una medición de la capacidad del agua para absorber o dispersar la luz debido al material suspendido. Puesto que la absorción o dispersión de la radiación son influidas por el tamaño y las características superficiales del material suspendido, la turbiedad no es una medición directa de la cantidad de sólidos suspendidos. Por ejemplo, un pequeño pedazo de materia en un vaso de agua no causará ninguna turbiedad. Si este pequeño trozo de materia es despedazado en miles de pequeñas partículas de tamaño coloidal, el resultado será una medible cantidad de turbiedad aún cuando la cantidad de sólido no habrá cambiado.

La turbiedad en agua superficial resulta de la erosión de material coloidal como arcilla, arena, fragmento de rocas y óxidos de metal del suelo. Las fibras vegetales y los microorganismos pueden también contribuir a la turbiedad. El agua residual tanto industrial como doméstica puede contener una amplia variedad de materiales productores de turbiedad. Los jabones, detergentes, y agentes emulsificantes producen coloides estables que resultan en turbiedad. No obstante que la medición de turbiedad no es un análisis común en agua residual, las descargas de agua residual pueden incrementar la turbiedad natural de los cuerpos de agua.

Cuando agua turbia se pone en un contenedor pequeño y transparente, y se pone frente a la luz, se puede observar fácilmente la apariencia lechosa y antiestética que presenta. La materia coloidal asociada con la turbiedad provee sitios de adsorción para compuesto químicos que pueden ser peligrosos o causar sabor u olor indeseable. La desinfección de agua turbia resulta difícil debido a las características adsorptivas de algunos coloides y por que los sólidos pueden cubrir parcialmente a los microorganismos de los desinfectantes.

En cuerpos de agua superficial, la turbiedad puede impartir color café u algún otro color al agua, dependiendo de las propiedades de absorción de luz de los sólidos y puede interferir con la penetración de la radiación y las reacciones fotosintéticas en corrientes y lagos.

La medición de turbiedad se lleva a cabo usualmente en agua limpia en lugar de agua residual. El agua superficial puede presentar turbiedad en el intervalo de algunos FTU hasta varios cientos.

**2.2.3 Color.** El agua pura es incolora, sin embargo el agua en la naturaleza es a menudo coloreada por sustancias extrañas. Se dice que el agua presenta color aparente cuando éste es parcialmente debido a materia suspendida. La contribución al color por sólidos disueltos que permanecen después de la remoción de materia suspendida es conocida como color verdadero.

Después del contacto con materia orgánica como hojas, malezas o madera, por ejemplo, el agua recibe taninos y ácidos húmicos que le confieren un color amarillo oscuro. Los óxidos de hierro colorea de rojo el agua mientras que los óxidos de manganeso causa color café o negro en el agua. El agua industrial de procesos textiles o provenientes de operaciones de teñido, producción de papel, procesado de alimentos, producción de compuestos químicos y procesos de minería agregan una importante coloración al agua.

El agua coloreada no es aceptable estéticamente para el público en general. De hecho, cuando se les pide elegir los consumidores tienden a tomar agua clara sin coloración de calidad pobre sobre agua potable tratada que presenta color. Agua con una coloración intensa no es útil para lavanderías, teñido, producción de papel y manufactura de bebidas. De esta manera, el color del agua afecta marcadamente su utilidad para usos tanto industrial como doméstico.

Mientras que el color verdadero no es usualmente considerado inseguro, los compuestos orgánicos que causan el color verdadero pueden aumentar la demanda de cloro y reducir seriamente la efectividad de la cloración como agente desinfectante. Quizá sean aun más importantes los subproductos formados por la combinación del cloro con los compuestos químicos que generan color. Los compuestos fenólicos, constituyentes comúnmente generados durante los procesos de decaimiento de vegetales, generan sabor y olor desagradable por reacción con cloro. Adicionalmente, algunos compuestos que se encuentran de forma natural en el agua como ácidos húmicos son capaces de reaccionar con cloro para generar compuestos que se sospecha son carcinogénicos.

Existen varios métodos para la determinación de color, los más utilizados son aquellos que involucran la comparación con materiales coloreados estandarizados. Los tubos para comparación de color contienen una serie de estándares que pueden ser utilizados para la comparación directa de las muestras de agua que han sido filtradas para remover el color aparente. Los resultados son expresados en unidades de color verdadero (TCU) donde una unidad es

equivalente al color producido por 1 mg/L de platino en la forma de iones cloroplatinato. En el caso de agua que presenta otros colores distintos al amarillo-café, especialmente para agua coloreada proveniente de efluentes industriales, es necesario la implementación de técnicas espectrofotométricas para la determinación de color.

Las determinaciones de color no se encuentran incluidas usualmente en el análisis de agua residual. En el caso de agua para consumo humano, la práctica común es la determinación de color verdadero producido por ácidos orgánicos resultado del decaimiento de material vegetal en el agua. El valor resultante puede ser tomado como una medición indirecta de las sustancias húmicas en el agua.

*2.2.4 Temperatura.* La temperatura no es usada usualmente para evaluar directamente agua residual o potable. Sin embargo es uno de los más importantes parámetros en sistemas de agua superficial. La temperatura del agua superficial tiene una gran influencia sobre las especies biológicas presentes y sus velocidades de actividad. La temperatura tiene también un efecto importante sobre las reacciones químicas que suceden en los sistemas naturales así como sobre la solubilidad de gases en agua.

La temperatura en sistemas naturales responde a muchos factores siendo la temperatura ambiental el más importante. Generalmente, los cuerpos de agua someros son más afectados que los cuerpos de agua más profundos. El uso de agua para la disipación de calor en la industria y la subsecuente descarga de agua caliente puede generar cambios dramáticos en la temperatura de los cuerpos receptores.

El agua fría usualmente presenta una mayor diversidad de especies biológicas. A menor temperatura, la velocidad de la actividad biológica, por ejemplo crecimiento, reproducción, entre otros, es menor. Si la temperatura se incrementa, la actividad biológica se incrementa. Un incremento de 10°C es usualmente suficiente para duplicar la actividad biológica, si están presentes los nutrientes esenciales. La temperatura afecta también propiedades físicas del agua. La viscosidad del agua se incrementa con la disminución de la temperatura. La densidad máxima del agua sucede a los 4°C y su densidad decrece cuando la temperatura cambia.

## 2.2 Parámetros químicos.

*2.2.1 Sólidos disueltos totales.* El material que permanece en el agua después de su filtración para retirar sólidos suspendidos es considerado que está disuelto. El material disuelto resulta de la acción de disolvente del agua en los sólidos, líquidos y gases. Como material suspendido, las sustancias disueltas pueden ser orgánicas o inorgánicas. Las sustancias inorgánicas que pueden estar disueltas en agua incluye minerales, metales y gases. El agua puede estar en contacto con estas sustancias en la atmósfera en la superficie y por contacto con el suelo. Los materiales generadas por el decaimiento de productos vegetales, compuesto

químicos orgánicos y gases orgánicos son constituyentes disueltos comunes del agua.

Muchas sustancias disueltas son indeseables en agua. Los minerales disueltos, gases y constituyentes orgánicos pueden producir efectos antiestéticos como color, sabor y olor desagradable. Algunos de estos compuestos químicos pueden ser tóxicos y algunos de los constituyentes disueltos han mostrado ser carcinogénicos. Muy a menudo dos o más sustancias disueltas, especialmente sustancias orgánicas y miembros del grupo de los halógenos, se combinan para formar compuestos cuyas características son peores que las de los compuestos originales.

Una medición directa de los sólidos totales puede ser por evaporación hasta sequedad de una muestra de agua que ha sido filtrada para remover los sólidos suspendidos. El residuo remanente se pesa y representa los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua. Los SDT se expresan en miligramos por litro en base seca. Las fracciones orgánica e inorgánica de los SDT puede ser determinada llevando el residuo hasta 600°C como se discutió antes.

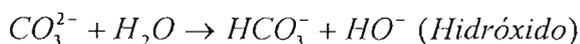
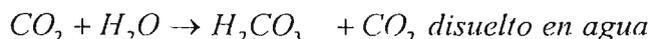
Una determinación aproximada de la concentración de SDT es la determinación de la conductividad eléctrica del agua. La habilidad del agua para conducir electricidad, conocida como la conductividad específica, es una función de su fuerza iónica. Desafortunadamente, la conductividad específica y la concentración de SDT no pueden ser relacionadas directamente ya que solamente las sustancias ionizadas pueden contribuir a la conductividad específica. Los compuestos orgánicos y aquellos que se disuelven sin ionizarse no son incluidos. Adicionalmente, la magnitud de la conductividad específica es influida por la valencia de los iones en disolución. La temperatura tiene también un efecto importante sobre la conductividad misma que se incrementa cuando la temperatura del agua se incrementa.

**2.2.2 Alcalinidad.** La alcalinidad se define como la cantidad de iones en agua que reaccionarán para neutralizar iones hidrógeno. La alcalinidad es una medida de la habilidad del agua para neutralizar ácidos.

Los constituyentes de la alcalinidad en sistemas naturales de agua incluye los iones carbonato ( $CO_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), hidróxido ( $HO^-$ ), fosfato ( $PO_4^{3-}$ ), sulfuro ( $S^{2-}$ ) y amoníaco, entre otros. Esos compuestos resultan de la disolución de sustancias minerales del suelo y la atmósfera. Los fosfatos pueden ser originados de la presencia de detergentes en descargas de agua residual y de agroquímicos usados en la agricultura.

Por mucho, el constituyente más común de la alcalinidad son los iones bicarbonato, carbonato e hidróxido. En adición a su origen mineral, estas sustancias pueden dióxido de carbono, un constituyente de la atmósfera y un

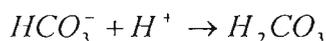
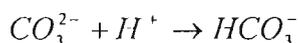
producto de la descomposición microbiológica de materia orgánica. Las reacciones involucradas en estos procesos son las siguientes:



Las reacciones representadas en el esquema anterior son reacciones químicamente débiles. Sin embargo, la utilización de iones bicarbonato como fuente de carbón por parte de las algas puede desplazar el equilibrio de reacción hacia la derecha y generar la acumulación de iones hidróxido. El agua con crecimiento algal acelerado a menudo presenta valores de pH entre 9 y 10.

En grandes cantidades, la alcalinidad imparte al agua un ligero sabor desagradable. La principal objeción para agua con alta alcalinidad son las reacciones que pueden ocurrir entre las especies causantes de la alcalinidad y ciertos cationes presentes en el agua. El precipitado resultante puede obstruir tuberías y otros sistemas hidráulicos.

La determinación de la alcalinidad se lleva a cabo por procesos de valoración volumétrica del agua con un ácido y determinando los equivalentes de hidrógeno utilizados. El valor de la alcalinidad es entonces expresado como miligramos por litro de  $CaCO_3$ . Si para la valoración de la alcalinidad, entonces 1 mL de ácido neutralizará 1 mg de alcalinidad determinada como  $CaCO_3$ . Los iones hidrógeno del ácido reaccionarán con la alcalinidad de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

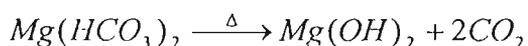
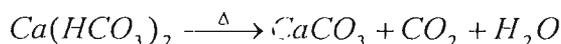


Las mediciones de alcalinidad son a menudo incluidas en el análisis de agua superficial para determinar su capacidad reguladora de pH. Es a menudo empleada como variable de control de procesos de tratamiento de agua residual.

**2.2.3 Dureza.** La dureza es definida como la concentración de cationes metálicos multivalentes en disolución. En condiciones supersaturadas, los cationes que producen la dureza reaccionan con aniones presentes en el agua para formar precipitados sólidos. La dureza del agua es clasificada como dureza de carbonatos y dureza de no carbonatos dependiendo del anión al cual se encuentra asociada. La dureza que es equivalente a la alcalinidad es llamada dureza de

carbonato, cualquier otro valor remanente a este es considerado debido a dureza de no carbonatos.

La dureza de carbonatos es sensible a la temperatura, para altos valores de temperatura se puede observar la precipitación de los iones de acuerdo con las siguientes reacciones:



Los iones metálicos multivalentes más abundantes en la naturaleza son el calcio y el magnesio. Otros también muy comunes incluyen fierro y manganeso y sus estados reducidos, estroncio y aluminio. Estos últimos son usualmente encontrados en mucho menor proporción que el calcio y magnesio y, para propósitos prácticos, la dureza representa la suma de estos dos iones.

El consumo de jabón en agua dura representa pérdidas económicas para los usuarios del agua. Los jabones fabricados de sales de sodio reaccionan con los cationes metálicos multivalentes para formar precipitados, perdiendo sus propiedades surfactantes. La generación de espuma, entonces, no ocurre hasta que todos los iones causantes de la dureza precipitan en el punto en que el jabón ablanda el agua. El precipitado formado por la dureza y el jabón se adhiere a la superficie de tuberías, lavaplatos e incluso ropa y trastos de cocina entre otros. Estos residuos pueden permanecer en los poros de la piel generando irritación. En años recientes, este problema se ha aliviado por el desarrollo de jabones y detergentes que no reaccionan con la dureza.

Se ha determinado que la dureza de magnesio tiene efecto laxante sobre las personas que no están acostumbradas a consumir agua con altos valores de este parámetro. La dureza de calcio no representa, hasta la fecha, ningún problema de salud pública sino que, por el contrario, es aparentemente benéfica para el sistema cardiovascular.

La dureza puede ser determinada usando técnicas espectrofotométricas o por valoración química volumétrica para determinar la concentración de iones calcio o magnesio presentes en la muestra. La dureza puede ser determinada directamente por valoración volumétrica con ácido etilendiamionotetraacético (EDTA) usando eriocromo negro T como indicador (ENT). Éste indicador reacciona con los cationes metálicos divalentes formando complejos de color rojo. El EDTA reemplaza al ENT en los complejos y, cuando el reemplazamiento es completo, la solución cambia de rojo a azul.

El análisis de dureza es comúnmente realizado en agua superficial que se pretenda utilizar como fuente de abastecimiento para consumo humano y para ciertos usos industriales. La dureza puede ir desde prácticamente cero hasta varios cientos de miligramos por litro. No obstante que los niveles de aceptación

varían de acuerdo con el usuario de cada tipo de agua, generalmente los criterios de clasificación aceptados son:

Agua suave	<50 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
Moderadamente dura	50-150 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
Dura	150-300 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
Muy dura	>300 mg/L de CaCO <sub>3</sub>

**2.2.4 Fluoruros.** Los fluoruros son generalmente asociados con algunos tipos de rocas ígneas. Comúnmente, los fluoruros son encontrados en concentraciones considerablemente altas y aparecen sólo en el agua subterránea de algunas regiones geográficas. En concentraciones altas el fluoruro es tóxico a los seres humanos y otras especies animales mientras que bajas concentraciones pueden resultar benéficas. Concentraciones de aproximadamente 0.1 mg/L en agua potable ayudan a prevenir caries en los niños, por lo que en algunos sistemas de abastecimiento se agrega fluoruro al agua en cantidad suficiente para promover la buena salud dental.

La ingesta excesiva de fluoruro, sin embargo, puede generar la decoloración de los dientes. El exceso de fluoruro puede también generar fluorosis y otras anomalías del esqueleto.

**2.2.5 Metales.** Una excesiva cantidad de cualquier metal puede presentar problemas para la salud sin embargo solamente aquellos metales que son peligrosos en concentraciones relativamente pequeñas se encuentran comúnmente catalogados como tóxicos, el resto son denominados metales no tóxicos. Las fuentes de metales en agua son la dilución de depósitos naturales y las descargas de agua residual doméstica, industrial y agrícola.

Además de los iones causantes de la dureza, calcio y magnesio, otros metales no tóxicos comúnmente presentes en agua son sodio, hierro, manganeso, aluminio, cobre y zinc. El sodio es el metal no tóxico más común presente en agua superficial, las sales de sodio son muy solubles en agua. Hierro y manganeso son metales que muy frecuentemente se encuentran juntos y que no presentan ningún riesgo para la salud a las concentraciones normalmente determinadas en agua superficial. Sin embargo, aún a concentraciones relativamente bajas, pueden generar color causando problemas estéticos.

Los otros metales no tóxicos son generalmente encontrados en concentraciones muy bajas en sistemas naturales de agua y en la mayor parte de los casos pueden causar problemas por la generación de sabor antes de que alcancen valores de concentración para los cuales son tóxicos. Sin embargo, cobre y zinc se ha determinado que tienen un efecto sinérgico y que cuando ambos se encuentran presentes, aún en concentraciones pequeñas, pueden ser tóxicos a especies biológicas.

2.2.6 *Contaminantes orgánicos*. Los compuestos orgánicos en sistemas naturales de agua pueden provenir de fuentes naturales o ser el resultado de la actividad humana. La mayoría de los compuestos orgánicos consisten de productos de decaimiento de sólidos orgánicos o bien compuestos orgánicos sintéticos resultado de la descarga de agua residual. Los orgánicos en agua son comúnmente divididos en dos amplios grupos: biodegradables y no biodegradables.

Los materiales biodegradables consisten de compuestos orgánicos que pueden ser utilizados por los microorganismos naturales como alimento. Estos materiales consisten usualmente de grasas, proteínas, alcoholes, ácidos orgánicos, aldehídos y algunos ésteres. Pueden ser los productos finales de la descomposición de tejido animal o vegetal o pueden ser resultado de descargas domésticas o industriales. Estos materiales pueden causar color, olor o sabor desagradable en el agua. El principal problema causado por estos contaminantes es la utilización del oxígeno disuelto durante el proceso de biodegradación.

La cantidad de oxígeno consumido durante la utilización microbiológica de los compuestos orgánicos es llamada demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La DBO es medida determinando el oxígeno consumido en una muestra mantenida bajo condiciones controladas por un determinado período de tiempo. La prueba estándar recomienda usar una botella de 300 mL y la incubación de la muestra a 20°C por 5 días en ausencia de luz. La DBO de la muestra es calculada entonces como:

$$DBO = \frac{DO_i - DO_f}{P}$$

donde  $DO_i$  y  $DO_f$  son las concentraciones inicial y final de oxígeno, respectivamente (mg/L), y  $P$  es la fracción decimal de la muestra en la botella de 300 mL.

Algunos materiales orgánicos son resistentes a la degradación biológica. Los taninos, celulosa y fenoles son ejemplos de compuestos usualmente encontrados en muestras de agua de sistemas naturales que son degradados lentamente por microorganismos. Las moléculas con enlaces excepcionalmente fuertes (algunos polisacáridos) o con estructuras anulares (benceno) son esencialmente no biodegradables. Otro ejemplo es el detergente alquil bencen sulfonato (ABS) el cual, debido a los anillos bencénicos, no se degrada. Siendo un surfactante, el ABS causa espumas en las plantas de tratamiento de agua residual e incrementa la turbiedad por estabilización de suspensiones de coloides.

Algunos otros compuestos orgánicos no son biodegradables porque son tóxicos para los microorganismos. Este grupo de compuestos incluye a los plaguicidas; hidrocarburos y otros compuesto químicos industriales. Los plaguicidas han sido

extensivamente utilizados durante las décadas anteriores tanto en la agricultura como en aplicaciones domésticas. Los insecticidas orgánicos son a menudo hidrocarburos clorados (*i.e.* aldrin, lindano, endrin) mientras que los herbicidas son compuestos clorofenoxilados (*i.e.* 2,4-D, 2,4,5-T). Muchos plaguicidas son toxinas que se acumulan y que causan severos problemas en las especies al final de la cadena trófica.

La medición de los compuestos orgánicos no biodegradables es usualmente realizada por medio de la demanda química de oxígeno. Este tipo de compuestos también pueden ser cuantificados con la concentración de carbono orgánico total (COT). Ambas pruebas miden también la fracción biodegradable de materia orgánica por lo que a los valores obtenidos se debe restar la concentración de DBO para estimar la cantidad de especies no biodegradables. Los compuestos específicos incluidos en la fracción no biodegradable deben ser determinados cualitativa y cuantitativamente por cromatografía de gases.

**2.2.7 Nutrientes.** Los nutrientes son elementos esenciales en el crecimiento y reproducción de plantas, animales y otras especies acuáticas que dependen de sus alrededores para el suministro de nutrientes. No obstante que varios minerales y elementos traza pueden ser considerados nutrientes, los requeridos en mayor abundancia por especies acuáticas son carbono, nitrógeno y fósforo.

El nitrógeno en forma de gas es un componente primario de la atmósfera de la tierra y es muy estable. Sin embargo, aunque algunas especies biológicas son capaces de captar nitrógeno directamente de la atmósfera, en el ambiente acuático las principales fuentes de nitrógeno no son atmosféricas.

El nitrógeno es un componente de proteínas, clorofila y muchos otros compuestos biológicos. Una vez que las plantas o animales mueren la materia orgánica compleja que los forma se descompone en formas más simples con ayuda de los microorganismos. Las proteínas, por ejemplo, son convertidas en aminoácidos y posteriormente reducidas a amonio. En presencia de oxígeno, el amonio se oxida a nitrito y hasta nitrato. El nitrato puede ser reconstituido en materia orgánica de organismos vivos a través de procesos fotosintéticos. Otras fuentes de nitrógeno en el medio acuático incluyen desechos animales y descargas de agua residual (principalmente fertilizantes).

Las pruebas de determinación de nitrógeno en agua incluyen comúnmente el análisis de amoníaco, nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico. Los resultados de los análisis son usualmente expresados como miligramos por litro de la especie en particular de nitrógeno. Las pruebas de amoníaco y nitrógeno orgánico son más comunes en agua residual y otros tipos de agua contaminada mientras que las pruebas de nitratos es la más común en agua limpia o agua residual tratada.

El fósforo aparece exclusivamente como fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) en ambientes acuáticos. Existen, sin embargo, varias formas de fosfato: ortofosfato, fosfato condensado y

fosfato enlazado orgánicamente. Estas formas pueden presentarse de manera disuelta o en suspensión, o como constituyentes de tejido vegetal o animal. Al igual que el nitrógeno, los fosfatos pasan a través de los ciclos de descomposición y fotosíntesis.

El fosfato es un constituyente de los suelos y se usa extensivamente como fertilizante para reemplazar y/o suplementar las cantidades naturalmente presentes en suelo agrícola. El fosfato es también un constituyente de los desechos animales y puede ser incorporado al suelo con relativa facilidad. Los arrastres de áreas agrícolas son las que presentan la mayor contribución a la concentración de fosfato en agua superficial, el agua residual municipal es otro de los principales contribuyentes a esta concentración. Específicamente, los fosfatos no son tóxicos y no representan un riesgo a la salud en seres humanos u otros organismos pero representan un serio problema indirecto para la calidad del agua.

Los fosfatos son determinados colorimétricamente. Los ortofosfatos pueden ser medidos directamente por hidrólisis ácida y los fosfatos orgánicos pueden ser convertidos a ortofosfatos por digestión ácida. Los resultados de los análisis son reportados en miligramos por litro de fosfatos como fósforo.

### 2.3 Parámetros biológicos.

El agua puede servir como medio en el cual literalmente miles de especies biológicas pasan parte, si no es que todo, su ciclo de vida. El intervalo de tamaño y complejidad en los organismos acuáticos va desde pequeños organismos unicelulares muy pequeños hasta los peces más grandes. Todos estos miembros de la comunidad biológica son, de alguna manera, parámetros de calidad del agua por que su presencia o ausencia puede indicar, en términos generales las características generales de un cuerpo de agua.

**2.3.1 Patógenos.** Desde la perspectiva humana de uso y consumo, los organismos biológicos más importantes en agua son los patógenos; estos organismos capaces de infectar o transmitir enfermedades a los humanos. Estos organismos no son nativos de sistemas acuáticos y usualmente requieren de un animal huésped para crecer y reproducirse. Este tipo de microorganismos pueden, sin embargo, ser transportados por los causes naturales de agua y así convertirse en miembros temporales de la comunidad acuática. Muchas especies de patógenos son capaces de sobrevivir en agua y de mantener su capacidad infecciosa durante períodos de tiempo considerable.

**Bacterias.** Son organismos unicelulares usualmente incoloros y son la forma de vida más simple capaz de sintetizar protoplasma del ambiente que le rodea. Los problemas intestinales son los síntomas más comunes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por bacterias presentes en agua.

El cólera, la enfermedad que diezmó la población Europea durante los siglos XVIII y XIX, y que es aún un grave problema de salud pública en muchos países

latinoamericanos, es transmitido por *Vibrio cholerae*. Esta enfermedad causa vómito y diarrea mismas que, sin el tratamiento adecuado, pueden producir la muerte. La tifoidea es otro ejemplo de enfermedad causada por bacterias que pueden encontrarse en agua de mala calidad.

Virus. Los virus son las estructuras biológicas más pequeñas conocidas que contienen toda la información genética para su propia reproducción. Son tan pequeños que sólo pueden ser observados con la ayuda del microscopio electrónico. Estos parásitos forzosamente requieren de un huésped para poder vivir. Los síntomas de enfermedades virales generalmente incluyen desorden del sistema nervioso en lugar del tracto gastrointestinal. Se sabe que los patógenos virales provenientes del agua causan poliomielitis y hepatitis entre otras enfermedades.

Protozoarios. La más baja forma de vida animal, los protozoarios, son organismos más complejos en su actividad funcional que los virus y las bacterias. Son organismos completos que pueden vivir libremente o como parásitos, ser patogénicos o no patogénicos, microscópicos o macroscópicos. Por su gran adaptabilidad, estos organismos se encuentran ampliamente distribuidos en agua superficial y sólo algunos protozoarios son patógenicos.

Las infecciones por protozoarios son caracterizadas por desorden gastrointestinal de menor gravedad que los descritos antes para infecciones causadas por bacterias. A pesar de su baja incidencia varios casos de giardiasis han sido reportados en personas que bebieron agua no tratada de corrientes superficiales. Esta infección es causada por *Giardia lamblia*, un protozoario que puede ser portado por los animales salvajes que viven cerca de los cursos de agua.

Helmintos. Los ciclos de vida de los helmintos a menudo involucran dos o más huéspedes animales uno de los cuales puede ser humano. La contaminación de agua con estos organismos puede ser resultado de los desechos humanos o animales que contengan helmintos. La contaminación puede ser también vía especies acuáticas diferentes a los huéspedes como serpientes o insectos. El uso de agua residual para la irrigación de cultivos de hortalizas es en países latinoamericanos es una de las principales razones de la amplia distribución de estos parásitos en humanos.

**2.3.2 Indicadores patogénicos.** El análisis del agua para conocer todos los patógenos presentes podría ser una propuesta cara y con una gran inversión de tiempo. Las pruebas de patógenos específicos son realizadas únicamente cuando existe una razón o cuando se sospecha la presencia de algún organismo en particular. Por ello, el uso de organismos indicadores es una práctica común en la determinación de la calidad del agua.

Un organismo indicador es uno cuya presencia sugiere que existe contaminación y la naturaleza de y cantidad de contaminante. El indicador ideal debe:

(1) ser aplicable a todos los tipos de agua, (2) estar siempre presente cuando otros patógenos están presentes (3) estar siempre ausente cuando los otros patógenos están ausentes (4) permitir el análisis rutinario sin interferencias de organismos externos y (5) no ser patogénico por sí mismo.

El organismo que más se acerca a los requerimientos establecidos antes pertenece al grupo de los coliformes fecales. Compuesto de varias cepas de bacterias, principalmente *Escherichia coli*, estos organismos se encuentran exclusivamente en el tracto intestinal de animales de sangre caliente y son excretados en gran número en las heces. Los coliformes fecales son organismos no patógenos y se considera que tienen un tiempo de vida superior, fuera de su organismo huésped, mayor que el de los patógenos.

La técnica más común en muestras de agua para determinación de bacterias coliformes es por filtro de membrana que provee una cuenta directa del número de bacterias. En esta técnica, una porción de la muestra se pasa por un filtro de tamaño de poro no mayor de 0.45  $\mu\text{m}$ . Las bacterias son retenidas en el filtro y puestas en un medio de cultivo selectivo para promover el crecimiento de las bacterias y la inhibición del crecimiento de otras especies. Los resultados son reportados como el número de organismos por 100 mL de muestra.

### 3. Muestreo.

3.1 *Parámetros de Calidad del Agua.* El objetivo en la toma de una muestra consiste en la colecta de una porción de agua lo suficientemente pequeña en volumen para poder ser convenientemente transportada y analizada en el laboratorio, y que represente con precisión el agua de la estación de donde proviene. Además, se requiere que la muestra sea manejada de tal modo que no ocurran cambios significativos en su composición antes de que los análisis se realicen. La presente sección pretende llevar a cabo una revisión de los parámetros que deben ser considerados para cumplir con el objetivo antes mencionado.

Existe un viejo dicho que establece: "el resultado de cualquier prueba analítica, no puede ser mejor que la muestra de la cual proviene". En un muestreo a un cuerpo receptor dado, sea un arroyo, río, lago o embalse, el primer paso para garantizar resultados confiables es un muestreo confiable. Sólo cuando las muestras son tomadas en el sitio que representa el total de una masa de agua, con el equipo adecuado, con las precauciones necesarias para no contaminarlas, y se preservan de acuerdo con los procedimientos establecidos, se podrá asegurar que son representativas.

Para realizar un muestreo confiable en un cuerpo receptor es necesario cumplir con una serie de pasos que incluyen:

Fase 1 Planeación. La obtención de muestras representativas de un cuerpo receptor requiere de tiempo, además de mucho material, reactivos y equipo. Se

recomienda asegurarse estar bien preparado, sobre todo si el sitio de muestreo se encuentra lejos de zonas urbanas y, en consecuencia, es difícil reabastecerse de insumos, materiales y provisiones. Además se considera necesario:

- Recopilar y revisar la información existente sobre el cuerpo de agua y la zona de estudio.
- Llevar a cabo una visita prospectiva de reconocimiento, para establecer y/o corroborar la ubicación de las estaciones, la facilidad de acceso y tiempos de traslado y, si procede, la ubicación de las descargas que afecten al cuerpo receptor.
- Elaborar un plan de muestreo que contemple que los resultados generados puedan cumplir con los objetivos planteados inicialmente en un estudio o visita de inspección.

Fase 2 Preparación. Elaborar una lista de verificación de materiales, reactivos y equipos adecuados para el muestreo.

- Preparar los recipientes y reactivos para la preservación de las muestras.
- Lavar el equipo de muestreo
- Calibrar los equipos de campo.

Fase 3 Muestreo. Cuando los pasos necesarios de planeación y preparación han sido completados, se está listo para coleccionar las muestras. La colecta de muestras tiene cuatro componentes principales que se deben mantener en mente:

- a) Lo más importante es la seguridad e higiene personal. Asegurarse de que todos los muestreadores tengan un entrenamiento apropiado en seguridad. Debido a que la toma de muestras se realiza en sitios remotos y, en ocasiones, en lugares contaminados, lejos de atención médica inmediata, es importante tener en cuenta lo siguiente: 1. Nunca salir solo al campo; 2. Determinar la ubicación del hospital, clínica o médico más cercanos; 3. Notificar a otros de su itinerario y ubicación; 4. Siempre use guantes, lentes de seguridad, bata y el calzado adecuado a la situación del muestreo.
- b) Colectar una muestra representativa. El objetivo primario de cualquier plan de muestreo consiste en coleccionar una muestra que represente la calidad del agua en un tiempo particular.
- c) Considerar el aseguramiento de calidad en el proceso de muestreo.
- d) Generar un registro completo y preciso del muestreo. Cada estación de muestreo ubíquelas con una descripción detallada, con mapas, con la ayuda de boyas o marcas en tierra, de modo que permita que otras personas las identifiquen sin depender de la memoria o de una guía personal. Por otro lado, la localización exacta de un sitio de muestreo puede proporcionarse en coordenadas geográficas (latitud y longitud), por medio de un equipo portátil de geoposicionamiento global (GPS), el cual proporciona las coordenadas geográficas de cualquier lugar del mundo, a través de satélites ubicados en el espacio.

### 3.2 Control de calidad en campo.

Plan de muestreo. Como ya se mencionó, en la fase 1 se incluye conocer la zona de estudio lo mejor posible; por ejemplo, si el cuerpo de agua cuenta con uno o más ríos tributarios es conveniente conocer el gasto promedio anual de estos ríos, la época de lluvias, sobre todo el período de avenidas; saber si existen descargas que puedan afectar la calidad del agua; si se trata de una descarga industrial o municipal, el tamaño de la cuenca y usos del suelo en la región. Por supuesto, es conveniente buscar información sobre trabajos de muestreo anteriores realizados en el río o embalse.

Con dicha información, así como los requisitos propuestos en un estudio, se elabora el plan de muestreo que consta de lo siguiente:

- Objetivo.
- Antecedentes.
- Tipo de muestreo.
- Control de calidad.
- Ubicación y descripción del sitio de muestreo.
- Medio de transporte.
- Participantes.
- Plan de seguridad.
- Lista de verificación de materiales, reactivos y equipo para el muestreo.

Estos componentes permitirán elaborar un plan de acción y proveerse del material los reactivos y el equipo necesario para el muestreo, que incluye desde una pluma hasta sustancias para preservación, hieleras, equipo de campo y hielo para el transporte de muestras.

Asimismo, la documentación de soporte que acompañará a las actas levantadas durante las visitas de inspección y/o verificación son:

- Formato de registro de campo para toma de muestras en visitas de inspección y/o verificación.
- Y, por último, para entregar adecuadamente las muestras al laboratorio, se elabora el formato de cadena de custodia.

Cabe enfatizar que un plan de muestreo bien elaborado protege a los que toman las muestras contra errores y minimiza la posibilidad de invalidar los resultados obtenidos.

Recipientes de muestreo. La tabla 3.1 es un listado de algunos parámetros físicos, químicos y microbiológicos de campo, el volumen mínimo requerido para el análisis, tipos de recipientes y preservación.

- Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y ser de un material afín al del recipiente.
- Los recipientes deben tratarse para eliminar cualquier sustancia que altere los resultados de los análisis.

Cuando se hagan los preparativos del muestreo, asegúrese de llevar envases suficientes, incluyendo aquellos que se usen para muestras de blancos de viaje, campo y muestras dobles. Procure llevar envases extras previendo que lleguen a existir roturas en el campo.

Tabla 3.1 Resumen de parámetros a muestrear en cuerpos de agua y requerimientos de manejo.

Parámetro	Volumen mínimo requerido (mL)	Recipiente	Preservación	Tiempo máximo de análisis
Oxígeno disuelto	---	---	Analizar inmediatamente	---
Temperatura del agua	---	---	Analizar inmediatamente	---
DBO	1,000	Plástico	4°C	48 horas
Cloruros	100	Plástico	4°C	7 días
Coliformes fecales y totales	150	Bolsa o frasco de vidrio estéril	Previamente con EDTA+ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 4°C	24 horas
Conductividad eléctrica	---	---	Analizar inmediatamente	---
Dureza como CaCO <sub>3</sub>	250	Plástico	HNO <sub>3</sub> , pH<2, 4°C	180 días
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	100	Plástico	4°C	7 días
Potencial de hidrógeno (pH)	---	---	Analizar inmediatamente	---
Grasas y aceites	1,000	Vidrio, boca ancha	HCl pH<2, 4°C	28 días
Sólidos suspendidos	1,000	Plástico	4°C	7 días
Sólidos disueltos	500 - 1,000	Plástico	4°C	7 días
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	500	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	7 días
Nitratos	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	7 días
Nitrógeno amoniacal	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	7 días
Fósforo total	1000	Plástico	4°C	28 días
Color verdadero	200	Plástico	4°C	2 días
Turbiedad	200	Plástico	4°C	1 a 2 días

**En negritas.** Parámetros medidos *in situ*.

### Etiquetas

- Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento, sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, anotándose la información en la hoja de registro de campo.

Para evitar confusiones en la identificación de las muestras, se deben pegar a los frascos, antes del muestreo, etiquetas adhesivas en las que se anote con tinta indeleble la siguiente información: número de muestra, fecha de muestreo (día/mes/año), hora, nombre o razón social completo del usuario visitado, número de acta de visita, nombre del muestreador, identificación de la estación de muestreo o descarga, tipo de muestra (simple, compuesta o integrada), tipo de preservación y análisis solicitado.

Cabe resaltar algunas consideraciones importantes. Con relación al empaque, las muestras se llenan poniendo atención de que no falten frascos y que éstos se ubiquen en posición vertical y acomoden de tal forma que no se golpeen unos con otros. Si es posible, se sugiere envolverlos con plástico burbuja. La temperatura en el interior de las hieleras se debe mantener a 4°C, con el uso de hielo en cubos o triturado.

Verificación y calibración del equipo. Las determinaciones en campo requieren el uso de equipos, tales como potenciómetro, termopar, conductímetro o multiparámetro, los cuales se deberán revisar y calibrar en las 24 horas previas al muestreo; además de recalibrar en el campo antes de usarse.

Revise con cuidado todo el equipo electrónico y el estado de las baterías o pilas para que operen apropiadamente, inspeccione las columnas de mercurio de los termómetros y verifique que las soluciones de calibración se encuentran con certificado de calibración vigente.

### 3.3 Procedimiento de muestreo (consideraciones generales).

Ya en el campo, primero se toman las muestras de microbiología (coliformes fecales y totales). Esto se debe principalmente a que si se empiezan a introducir los equipos de medición, se favorecería una probable contaminación de las muestras microbiológicas. Después de esto, se obtienen las muestras de grasas y aceites e inmediatamente después se miden: el gasto, temperatura del agua y del ambiente, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Posteriormente se tomarán el resto de las muestras de agua.

*3.3.1 Muestreo en corrientes.* Cuando las muestras son colectadas de un río o arroyo, los resultados observados pueden variar con la profundidad, el flujo del río y la distancia con respecto a las orillas. Se pueden coleccionar dos tipos de muestras en sistemas lóticos. De modo simplificado, se puede tomar una muestra integrada de la parte superior y del fondo en el centro del río y a cada lado del mismo a una profundidad media, de modo que se integre un 25% de agua, en cada uno de estos puntos (ver la figura 1). Por otro lado, si se va a coleccionar una muestra simple, de preferencia, coléctela en el centro del río y a profundidad media.

**3.3.2 Muestreo en lagos, lagunas y embalses.** Los lagos, lagunas y embalses están sujetos a variaciones considerables tales como la estratificación estacional, lluvia, escorrentías y viento. Escoja la ubicación, profundidad y frecuencia de muestreo con relación a las condiciones locales y el propósito de la investigación. Evite el muestreo de la nata superficial.

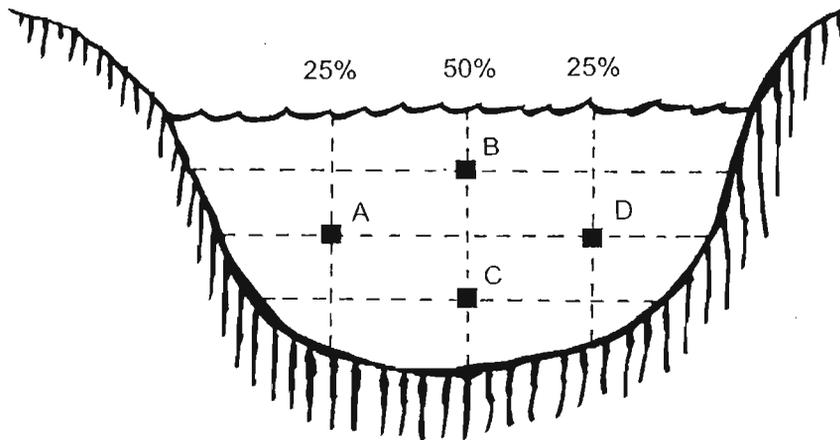


Figura 3.1 Ubicación de los puntos de colecta, al tomar una muestra integrada en un río.

Desde los primeros meses del año, el sol va calentando la capa superficial del cuerpo de agua, lo que propicia la formación de capas de agua de diferente temperatura y densidad a lo largo de la columna de agua. Dicha estratificación de temperatura y de oxígeno disuelto, con respecto a la profundidad, confiere a un lago o embalse diferencias marcadas en la calidad del agua en las tres capas que se forman (a saber: epilimnion, termoclina e hipolimnion), en el que la capa superficial está bien mezclada y caliente; mientras que la capa profunda es relativamente más fría, sin mezcla y baja en oxígeno disuelto (ver figura 3.2).

### 3.4 Parámetros de campo.

En cada estación seleccionada mida, a nivel superficial (50 cm por debajo de la superficie), la temperatura, pH, oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica. De preferencia y si cuenta con un equipo multiparámetro, sonda y cable de 15 m de largo o más, en cada estación realice mediciones superficiales y a cada metro hasta llegar a los 50 cm por encima del fondo (ver figura 3).

En campo, otro parámetro sencillo de medir, consiste en la medición de la transparencia (la capacidad de la luz de penetrar la columna de agua), por medio del disco de Secchi. Esta medida se obtiene al bajar un disco que se encuentra pintado con cuadrantes de color blanco y negro (el dispositivo tiene un diámetro de 20 cm), se baja el disco hasta que el muestreador lo pierde de vista. Por último, se

mide la distancia del disco a la superficie del cuerpo de agua; las unidades obtenidas se expresan en metros.

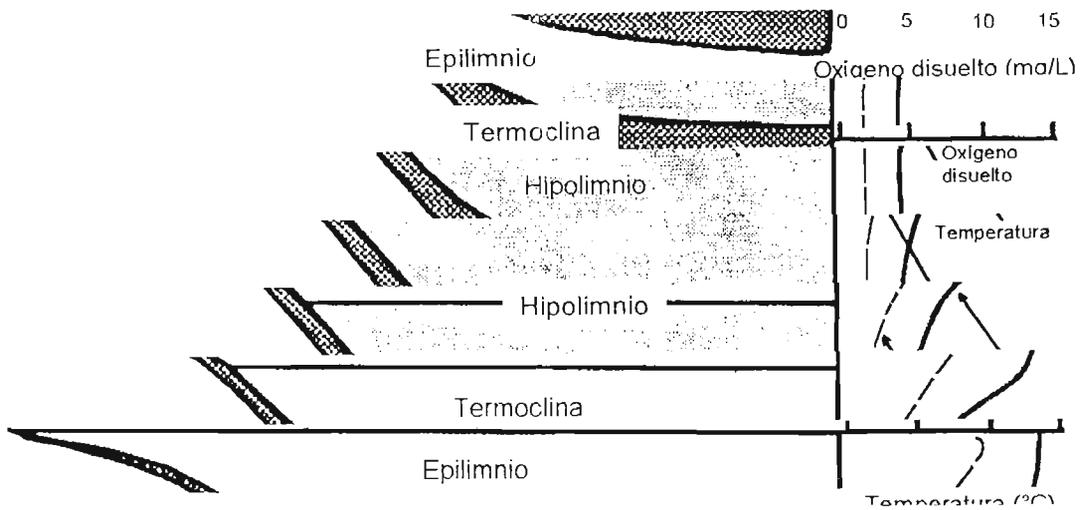
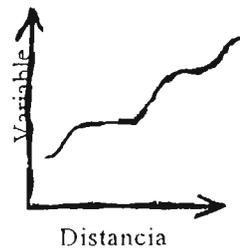


Figura 3.2. Estratificación térmica en un cuerpo de agua, junto con perfiles de temperatura y oxígeno disuelto.

Perfil longitudinal en un río



Perfil vertical en un lago

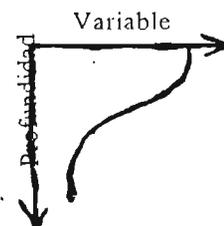
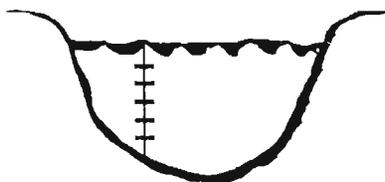


Figura 3.5 Estaciones longitudinales en un río, perfil vertical de campo en un lago, forma en que se pueden presentar los resultados.

### 3.5. *Obtención de muestras profundas* (uso de la botella Van Dorn).

Se pueden obtener muestras de agua de lagos y embalses con una botella Van Dorn (muestreador Alfa) o Kemmerer. En general, enjuague la botella muestreadora con el agua del lago antes de colectar. Inicie la colecta con las muestras que contienen las concentraciones más bajas (esto es, obtenga la muestra de superficie antes de sacar la del fondo). En lagos pequeños, de forma cercana a circular y someros (aquellos en los cuales la concentración de oxígeno disuelto se presenta relativamente uniforme con la profundidad) colecte la muestra cerca del centro del lago a una profundidad de 30 – 50 cm. Considere realizar más estaciones con base a los objetivos del estudio y/o posible sospecha de contaminación en alguna zona del cuerpo de agua.

En lagos o embalses profundos y que se llegan a estratificar (por ejemplo, con profundidades mayores a 12 – 15 m) obtenga muestras de calidad del agua a un mínimo de dos profundidades: a 30 – 50 cm debajo de la superficie, y otra a la base del hipolimnion, aproximadamente a 50 – 100 cm del fondo del cuerpo receptor. Se debe tener cuidado de no mezclar la muestra con el sedimento del fondo.

### 3.6 *Seguridad.*

Para salir a un cuerpo de agua en lancha, considerar lo siguiente:

- Siempre contar con un capitán, pescador o compañero experimentado, que esté atento y al mando de la lancha.
- Consultar las condiciones meteorológicas de la zona, de preferencia el mismo día del muestreo o máximo con un día de diferencia, y estar siempre atentos a un cambio desfavorable de las condiciones atmosféricas.
- Utilizar una lancha amplia y en buen estado, techada y con motor en condiciones mecánicas óptimas. Evitar exceder el número máximo de personas que pueden ser transportadas de modo seguro. Contar con el combustible suficiente y, de sobra, para todo el itinerario.
- Contar con, al menos, un extintor para el fuego.
- Señales luminosas y caja de herramientas adecuadas.
- Se deberá llevar un equipo de posicionamiento global (GPS).
- No anclar la lancha por la popa. En una corriente fuerte, la popa puede ser jalada hacia abajo por la fuerza del agua. El bote también es susceptible de hundirse por la acción de las olas, sobre todo en la zona de rompientes; en dicha zona, evitar en todo momento el estar descuidado y anclar la lancha de modo paralelo a la costa.
- Usar todo el tiempo un chaleco salvavidas por persona; sobre todo si algún miembro de la brigada no sabe nadar.

## 4. Análisis

### 4.1 Aseguramiento de la calidad en laboratorio.

El aseguramiento de la calidad es un conjunto de principios operacionales que, si se sigue estrictamente durante la colección de las muestras y el análisis de las mismas, producirá datos de calidad conocida y defendible. Es decir, la precisión de los resultados analíticos puede ser establecida con un gran nivel de confianza.

El establecimiento de un sistema de aseguramiento de calidad incluye el uso de formatos con firmas de autorización, organización del personal incluyendo responsabilidades personalizadas, control de muestras y procedimientos de documentación, procedimientos estándar de operación para cada método analítico, requerimientos de entrenamiento del personal, mantenimiento preventivo de equipo, procedimientos de calibración acciones correctivas, actividades de control de calidad interno, auditorias de habilidad analítica, validación de técnicas y reportes de resultados.

### 4.2 Control de calidad en el laboratorio.

El control de calidad en el laboratorio puede ser interno o externo. Este último caso se desarrolla en la sección 4.4. En el caso del control de calidad interno, hay una serie de actividades involucradas que tienen como fin determinar la calidad y rastreabilidad de los resultados de análisis generados por un laboratorio. Entre los más importante se encuentran:

1. Certificación de la competencia del analista. Antes de permitir a un analista llevar a cabo trabajo reportable en el análisis de muestras ambientales es necesario comprobar su competencia para realizar ese análisis. Los requerimientos pueden variar dependiendo del tipo de parámetro que se desee certificar. Por lo regular, comprobar la precisión y exactitud del analista para la realización del análisis es suficiente. Para ello se puede llevar a cabo una demostración inicial del desempeño: el analista lleva a cabo el análisis de al menos siete réplicas de concentración conocida del parámetro de interés y después realizar el análisis estadístico de los resultados generados para determinar el coeficiente de variación y el rango lineal del método.
2. Recobro de adiciones de concentración conocida. Este procedimiento permite verificar la ausencia de efectos de la matriz analizada así como mantener una relación histórica de la actuación del analista en la realización del análisis.
3. Análisis de muestras blanco. Es importante determinar la ausencia de contaminación cruzada generada dentro de las instalaciones de análisis. Para ello es importante asegurar que los resultados obtenidos son debidos a los parámetros que efectivamente se encontraban presentes en las muestras ambientales. El análisis de blanco de campo, blanco de viaje, blanco de

reactivos y blanco de material de vidrio ayuda a eliminar la posibilidad de reportes de falsos positivos en el análisis.

4. Análisis de duplicados. Cuando la mayoría de las muestras tienen concentraciones medibles de los constituyentes que serán analizados, el análisis de muestras duplicado es útil para la determinación de la precisión del método.

#### 4.3 Interpretación de resultados.

Cada laboratorio debe establecer los límites de aceptación para cada uno de los criterios de control de calidad que decida implementar. Estos criterios deben ser, de inicio, establecidos lo suficientemente holgados para permitir la generación de datos hasta tener establecidos los límites en función de los resultados históricos generados por cada uno de los analistas en el laboratorio.

#### 4.4 Ejercicios de intercalibración.

El control de calidad externo se lleva a cabo mediante el análisis de muestras ciegas enviadas al laboratorio por una fuente externa para determinar la variabilidad y repetibilidad de los resultados del laboratorio con respecto a los generados por otros laboratorios similares. El laboratorio que genera las muestras debe ser capaz de asegurar la concentración de los analitos de interés en las mismas así como la estabilidad de éstos en la matriz elegida. La comparación entre los resultados generados por los diferentes participantes en las pruebas de intercalibración deben ser analizados empleando metodologías estadísticas claramente establecidas y trabajando con niveles de confianza adecuados.

### 5. Legislación.

#### 5.1 Legislación Mexicana.

La reglamentación mexicana ha presentado un gran desarrollo en el tema de evaluación y control de agua residual y descargas que impactan a diversos cuerpos receptores.

En 1973 la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) instauró, por primera vez, un programa de prevención y control de la contaminación de los cuerpos receptores generada por las descargas de aguas residuales municipales e industriales. Este programa consistió en tres etapas.

1. Registro obligatorio ante las autoridades por parte de los responsables de la emisión de aguas residuales municipales e industriales.
2. Presentación, ante la SRH, de un informe preliminar de ingeniería cuando el agua residual no cumpliera con los valores establecidos (tabla 5.1). El informe debía contener los planes y acciones para el tratamiento del agua.

Tabla 5.1. Parámetros y sus valores máximos permisibles.

Parámetros	Concentración máxima
Sólidos sedimentables	1.0 mL/L
Grasas y aceites	70 mg/L
Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por una malla de 3 mm de claro libre cuadrado
Temperatura	35°C
pH	4.5 – 10.0

3. Elaboración, por parte de la SRH, de los estudios de clasificación de los cuerpos de agua del país y el establecimiento de los criterios de calidad de los mismos, sobre los cuales las autoridades deberían fijar las condiciones particulares de descarga.

En 1989 la Comisión Nacional del Agua (CNA) publicó los criterios de calidad del agua y, a través de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), quedó como responsable de emitir las normas para la prevención y control de la contaminación del agua.

Dos años más tarde, en 1991, se emitió por primera vez, la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, donde entre otros puntos se grava la descarga de agua residual. Esta ley se actualiza anualmente. Al año siguiente, el 1° de diciembre de 1992 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y el 12 de enero de 1994 salió publicado su reglamento.

En relación con el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, y con calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales, entre otras, la Secretaría de Salud publicó el 18 de enero de 1996, la NOM-127-SSA1-1994. En esta norma, se establecieron los límites permisibles de calidad del agua con relación a las características bacteriológicas, físicas, organolépticas (color, olor, sabor y turbiedad), químicas y radiactivas, así como los tratamientos de potabilización que se le puede aplicar a una fuente, con el fin de hacerla apta para el consumo humano. Esta norma aplica a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados, tales como obras hidráulicas y de almacenamiento. La NOM-127 ha sido revisada en los límites permisibles que indica, de modo que las modificaciones entraron en vigor el 22 de febrero del 2001.

Cabe resaltar que, de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, capítulo XIV, artículo 278-A, los cuerpos de propiedad nacional, receptores de las descargas de aguas nacionales, se clasifican como sigue:

Tipo A. Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros.

Tipo B. Todos los estuarios y humedales naturales, ríos, arroyos, embalses naturales o artificiales, a excepción de los que se clasifican como tipo C.

Tipo C. Presas, lagos, lagunas, acuíferos y manantiales.

En 1996, la CNA y el Instituto Nacional de Ecología (INE) sintetizaron 44 normas preexistentes de calidad de las descargas de aguas residuales en únicamente tres normas oficiales mexicanas, que establecen las condiciones de descarga a un cuerpo receptor en función de su uso: riego agrícola, uso público urbano, protección de la vida acuática, explotación pesquera, navegación y estero. Resalta como la norma más importante la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

La tabla 5.2 muestra los parámetros involucrados en la NOM-127 y la NOM-001 así como los valores máximos permisibles establecidos en éstas.

Tabla 5.2. Parámetros involucrados en la legislación mexicana y valores máximos permisibles establecidas en las mismas.

Parámetros	NOM-127-SSA1-1994	Límites máximos permisibles		
		Ríos (Uso público P.D.)	Embalses naturales (Uso público P.D.)	Agua costera (Recreación P.D.)
Coliformes totales	Ausencia o no detectables			
Coliformes fecales	Ausencia o no detectables			
Color	20 unidades de color verdadero			
Olor y sabor	Agradable			
Turbiedad	5 UTN			
Aluminio	0.2			
Arsénico	0.05	0.1	0.2	0.4
Bario	0.7			
Cadmio	0.005	0.1	0.2	0.4
Cianuros	0.07	1.0	2.0	3.0
Cloro residual	0.2-1.5			
Cloruros	250.0			
Cobre	2.0	4.0	6.0	6.0
Cromo total	0.05	0.5	1.0	1.5
Dureza total	500.0			
Fenoles	0.3			
Fierro	0.3			
Fluoruros	1.50			

Hidrocarburos aromáticos				
(µg/L)				
Benceno	10.0			
Etilbenceno	300.0			
Tolueno	700.0			
Xilenos totales	500.0			
Manganeso	0.15			
Mercurio	0.001	0.005	0.01	0.02
Nitratos	10.0			
Nitritos	1.0			
Nitrógeno amoniacal	0.5			
pH	6.5-8.5			
Plaguicidas (µg/L)				
Aldrín y dieldrín	0.03			
Cirodano	0.2			
DDT (total de isómeros)	1.0			
Lindano	2.0			
HCB	1.0			
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03			
Metoxicloro	20.0			
2,4-D	30.0			
Plomo	0.01	0.2	0.4	1
Sodio	200.0			
Sólidos disueltos totales	1000.0			
Sulfatos	400.0			
SAAM	0.5			
Trihalometanos totales	0.2			
Yodo residual	0.2-0.5			
Zinc	5	10	20	20
Radiación alfa	0.56 (Bq/L)			
Radiación beta	1.85 (Bq/L)			

Calidad del agua: Conceptos fundamentales.

Temperatura	40	40	40
Grasas y aceites	25	25	25
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables	2	2	2
Sólidos suspendidos totales	75	60	125
DBO	75	60	150
Nitrógeno total	40	25	N.A.
Fósforo total	20	10	N.A.
Níquel	2	4.0	4

---

## 6 Manejo de datos.

### 6.1 Índice de calidad del agua (ICA).

El aumento de los niveles de contaminación del agua superficial ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Desafortunadamente, la extensa información obtenida de los monitoreos y las determinaciones de los parámetros no necesariamente conducen a una comprensión acertada sobre la calidad del agua.

Los índices de calidad del agua (ICA) son agrupaciones de parámetros indicadores de deterioro de la calidad del agua que permiten comunicar y evaluar, dentro de un marco de referencia unificado, la calidad del agua de un embalse. Para que el índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a su forma más simple y durante el proceso de simplificación algo de información, inevitablemente, se sacrifica. Si el diseño del ICA es adecuado, el valor determinado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y, sobre todo, comparable con otros para enmarcar intervalos y detectar tendencias.

### 6.2 Parámetros involucrados en el ICA.

Existe una amplia variedad de índices propuestos que involucran a su vez los más variados parámetros de comparación. La tabla 6.1 muestra los parámetros propuestos para la evaluación del ICA de acuerdo con varios autores (León, 1991).

### 6.3 Cálculo del ICA.

Matemáticamente, la obtención del ICA es a través de técnicas multiplicativas y asignación de pesos específicos. La evaluación numérica del ICA se realiza a partir de una media geométrica ponderada por la siguiente ecuación:

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i}$$

donde  $W_i$  son los pesos unitarios asignados a cada parámetro  $i$  por su importancia y ponderados entre 0 y 1 de tal forma que se cumpla que

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

con  $n$  el número de parámetros elegidos,  $Q_i$  la calidad del parámetro  $i$ , en función de su concentración y cuya calificación varía entre 0 y 100.

Tabla 6.1. Diferentes parámetros involucrados en el cálculo del ICA de acuerdo con diferentes autores.

Parámetro	Unidades	NSF (1970)	Dinius (1972)	I.I.-UNAM (1974)	Dinius (1987)
Oxígeno disuelto	% saturación	✓	✓	✓	✓
DBO	mg/L	✓	✓	✓	✓
DQO	mg/L			✓	
pH	-	✓	✓	✓	✓
SST	mg/L	✓		✓	
Coliformes totales	NMP en 100		✓	✓	✓
Coliformes fecales	mL	✓	✓	✓	✓
NO <sub>3</sub>	mg/L	✓		✓	✓
NH <sub>3</sub>	mg/L			✓	
PO <sub>4</sub>	mg/L	✓		✓	
Fenoles	mg/L			✓	
ΔT	° C	✓	✓	✓	✓
Cloruros	mg/L		✓		✓
Dureza total	mg/L		✓		✓
Alcalinidad	mg/L		✓		✓
Turbiedad	UT	✓			
C.E	μΩ/cm		✓		✓
Color	UPC		✓		✓

El valor de ICA que genera las ecuaciones anteriores es un valor entre 0 y 100 que califica la calidad del agua en función del uso de la misma y permite estimar el nivel de contaminación del cuerpo de agua analizado. La tabla 6.2 muestra los intervalos de calificación del ICA como función del uso del agua.

Tabla 6.2. Intervalos de calificación del ICA según el uso del agua.

Intervalo del ICA	Agua potable	Agrícola	Usos Pesca	Industrial	Recreativo
100-90	Excelente	Excelente		Excelente	
90-80	Aceptable				
80-70	C. leve	Aceptable	Excelente	Aceptable	Excelente
70-60	Contaminada	C. leve	Aceptable		Aceptable
60-50			C. leve	C. leve	
50-40	C. grave		Contaminada		C. leve
40-30	C. exceso	Contaminada	C. grave		Contaminada
				Contaminada	
30-20		C. grave	C. exceso	C. grave	C. grave
20-10		C. exceso		C. exceso	C. exceso
10-0					

C. leve = contaminación leve; C. grave= contaminación grave; C. exceso = contaminación en exceso.

## Bibliografía

APPHA, AWWA, WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>a</sup> Edición. American Public Health Association. Washington, D.C. Estados Unidos de América.

Bravo L. 2003. Serie autodidáctica en materia de normas técnicas relacionadas con la inspección y verificación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

Leon L. 1991. Índices de calidad del agua. Informe técnico SH-9101/01. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

Peavy H.S., Rowe D.R., Tchobanoglous G. 1985. Environmental Engineering. McGraw-Hill New York, Estados Unidos de América.

# PARAMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD DEL AGUA

## → PARAMETROS FÍSICOS

DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS QUE RESPONDEN A LOS SENTIDOS

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS

- SON PARTÍCULAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS O LÍQUIDOS INMISCIBLES
- MATERIA ORGÁNICA Y SÓLIDOS BIOLÓGICOS (ALGAS, BACTERIAS)
- SÓLIDOS INORGÁNICOS COMO ARENA, ARCILLA.

EN GENERAL SON RESULTANTES DE LA ACCIÓN EROSIVA DEL AGUA SOBRE LA SUPERFICIE.

→ ES POCO COMÚN EN AGUA SUBTERRÁNEA

LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TIENEN EFECTO ANTIESTÉTICO, PRINCIPALMENTE.

→ SE DETERMINAN POR PRUEBAS GRAVIMÉTRICAS.

## TURBIEDAD.

ES LA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DEL AGUA PARA ABSORBER O DISPERSAR LA LUZ DEBIDO AL MATERIAL SUSPENDIDO.

→ COMO LA ABSORCIÓN O DISPERSIÓN DE LA LUZ SE INFLUYE POR EL TAMAÑO Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL SUSPENDIDO, NO ES UNA MEDICIÓN DIRECTA DE LA CANTIDAD DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS.

LAS FUENTES SON LAS MISMAS QUE LOS S.S. ES UN ANALISIS COMÚN EN AGUA PARA CONSUMO.

MATERIA COLOIDAL → SITIOS DE ADSORCIÓN  
PUEDE INTERFERIR CON LA FOTOSÍNTESIS

→ COLOR

→ TEMPERATURA

## Oxígeno Disuelto en Agua

→ SIN UN NIVEL APRECIABLE DE OXÍGENO DISUELTTO (O.D), MUCHAS CLASES DE ORGANISMOS NO PUDEN EXISTIR.

EL O.D. ES CONSUMIDO POR LA DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

→ MUCHAS VECES LA MUERTE DE ORGANISMOS ACUÁTICOS NO ES CAUSADA POR LA TOXICIDAD DE LOS CONTAMINANTES SINO POR LA DEFICIENCIA DE OXÍGENO DISUELTTO.

→ LA SOLUBILIDAD DEL OXÍGENO EN AGUA DEPENDE DE LA TEMPERATURA, LA PRESIÓN PARCIAL DEL OXÍGENO EN LA ATMÓSFERA, Y EL CONTENIDO DE SALES (FUERZA IÓNICA) DEL AGUA.

### IMPORTANTE

SOLUBILIDAD DE OXÍGENO. ES LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE OXÍGENO EN EQUILIBRIO.

## IMPORTANTE

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS. ES LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO NO EN EQUILIBRIO Y ESTÁ LIMITADA POR LA VELOCIDAD DE DISOLUCIÓN.

→ LA SOLUBILIDAD DE CUALQUIER GAS ES DESCRITA POR LA LEY DE HENRY:

"A TEMPERATURA CONSTANTE, LA SOLUBILIDAD DE UN GAS EN UN LÍQUIDO ES PROPORCIONAL A LA PRESIÓN PARCIAL DEL GAS EN CONTACTO CON EL LÍQUIDO"

PARA UN GAS X:



SIN CONSIDERAR REACCIONES ADICIONALES DEL GAS EN AGUA COMO:



MATEMÁTICAMENTE

$$[X(aq)] = K P_x$$

DONDE  $[X(aq)]$  = CONCENTRACIÓN DE GAS DISUELTOS

$P_x$  = PRESIÓN PARCIAL DEL GAS

K = CONSTANTE DE HENRY

## VALORES DE CONSTANTE DE HENRY PARA ALGUNOS GASES

---

GAS	K (mol L <sup>-1</sup> atm <sup>-1</sup> )
O <sub>2</sub>	1.28 × 10 <sup>-3</sup>
CO <sub>2</sub>	3.38 × 10 <sup>-2</sup>
H <sub>2</sub>	7.9 × 10 <sup>-4</sup>
CH <sub>4</sub>	1.34 × 10 <sup>-3</sup>
N <sub>2</sub>	6.48 × 10 <sup>-4</sup>
NO	2 × 10 <sup>-4</sup>

---

→ PARA CALCULAR LA SOLUBILIDAD DE UN GAS EN AGUA, SE DEBE HACER UNA CORRECCIÓN POR LA PRESIÓN PARCIAL DEL AGUA, RESTANDOLA DE LA PRESIÓN TOTAL DEL GAS.

} A 25°C LA PRESIÓN PARCIAL DEL AGUA  
ES 0.0313 ATM. }

LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO EN AGUA SATURADA CON AIRE A 1 ATM Y 25°C PUEDE SER CALCULADA COMO SIGUE:

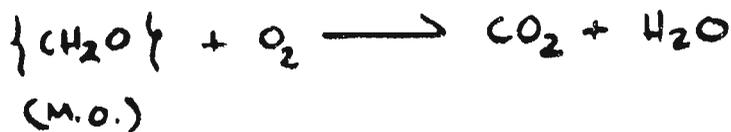
Donde  $C_1$  y  $C_2$  son las concentraciones de gas en solución a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente,  $\Delta H$  es el calor de disolución y  $R$  es la constante de los gases ideales.

$$R [=] 1.987 \text{ cal } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\Delta H [=] \text{ cal/mol}$$

### CONSUMO DE OXÍGENO POR DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Si la materia orgánica se degrada en agua de acuerdo con la ecuación:



La cantidad de M.O. necesaria para consumir 8.3 mg de  $\text{O}_2$  disueltos en un litro de agua en equilibrio con la atmósfera a  $20^\circ\text{C}$  se puede obtener por estequiometría:

$$2.6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 30 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 7.8 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Es decir  $\sim 8$  mg de M.O. pueden consumir todo el O.D.

CONSIDERANDO QUE EL AIRE SECO TIENE  
20.95% EN VOLUMEN DE  $O_2$ :

LA PRESIÓN PARCIAL SERÁ:

$$P_{O_2} = (1 \text{ ATM} - 0.0313 \text{ ATM}) \times 0.2095 = 0.2029 \text{ ATM}$$

$$\begin{aligned} [O_2(\text{aq})] &= k P_{O_2} = \left[ 1.28 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L ATM}} \right] [0.2029 \text{ ATM}] \\ &= 2.6 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

¿CUAL SERÁ LA CONCENTRACIÓN DE O.D. EN  
mg/L?

$$\text{Peso molecular } O_2 = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$2.6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \left( 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} \right) =$$

LA SOLUBILIDAD DE LOS GASES DISMINUYE CONFORME AUMENTA  
LA TEMPERATURA. ESTA VARIACIÓN ES CONSIDERADA POR  
LA ECUACIÓN DE CLAUSIUS-CLAPEYRON

$$\log \frac{C_2}{C_1} = \frac{\Delta H}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{[\text{H}^+](9 \times 10^{-4})}{3 K_{a2}} = \frac{(1 \times 10^{-10})(9 \times 10^{-4})}{3(4.69 \times 10^{-11})} = 4.64 \times 10^{-4}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_{a2}[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} = \frac{(4.69 \times 10^{-11})(4.64 \times 10^{-4})}{1 \times 10^{-10}} = 2.17 \times 10^{-4}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1 \times 10^{-4}$$

$$[\text{Alc}] =$$

$$[\text{Alc}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

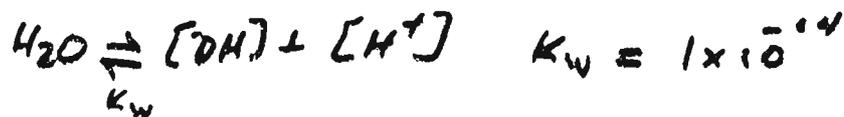
$$= 4.64 \times 10^{-4} + 2(2.17 \times 10^{-4}) + 1 \times 10^{-4} = 0.9 \times 10^{-3}$$

DE FORMA NATURAL  $[ALC] = 1 \times 10^3 \text{ eq/L}$  Y LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DEPENDE DEL PH

A  $\text{pH} = 7$   $[H_2O]$  NO TIENE CONTRIBUCIÓN  
 $[HCO_3^-] \gg [CO_3^{2-}] \Rightarrow [HCO_3^-] = 1 \times 10^3 \text{ M}$

PARA  $\text{pH} = 10$  Y  $[ALC] = 1 \times 10^3 \text{ eq/L}$

$$[ALC] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [H_2O] = 1 \times 10^3$$



$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_{a2} [HCO_3^-]}{[H^+]}$$

$$[H_2O] = \frac{K_w}{[H^+]} = 1 \times 10^{-4}$$

$$[HCO_3^-] = 1 \times 10^3 - 2 \frac{K_{a2} [HCO_3^-]}{[H^+]} - 1 \times 10^{-4}$$

$$[HCO_3^-] + \frac{2K_{a2} [HCO_3^-]}{[H^+]} = 1 \times 10^3 - 1 \times 10^{-4}$$

$$\frac{3K_{a2} [HCO_3^-]}{[H^+]} = 9 \times 10^9$$

## ACIDEZ DEL AGUA

→ LOS FENÓMENOS ACIDO-BASE EN AGUA INVOLUCRAN PERDIDA Y ACEPTACIÓN DE IONES  $H^+$

ACIDEZ ES LA CAPACIDAD DEL AGUA DE NEUTRALIZAR  $OH^-$ . ALCALINIDAD ES LA CAPACIDAD DE NEUTRALIZAR  $H^+$ .

→ LA ACIDEZ GENERALMENTE RESULTA DE LA PRESENCIA DE ACIDOS DÉBILES, PARTICULARMENTE  $CO_2$  AUNQUE A VECES TAMBIEN INCLUYE  $H_2PO_4^-$ ,  $H_2S$ , ÁCIDOS GRASOS, IONES METÁLICOS ( $Fe^{+3}$ ).

GENERALMENTE, EL AGUA PRESENTA ALCALINIDAD SIN EMBARGO NO ES FRECUENTE EL AGUA ACIDA EXCEPTO CUANDO HAY CONTAMINACIÓN SEVERA.

## DIOXIDO DE CARBÓN EN AGUA

$\text{CO}_2$  ES EL ÁCIDO DÉBIL MÁS IMPORTANTE EN AGUA. DEBIDO A SU PRESENCIA EN EL AIRE Y SU PRODUCCIÓN POR PROCESOS BIOLÓGICOS.

→ EL  $\text{CO}_2$  Y SUS PRODUCTOS DE IONIZACIÓN  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  SON MUY IMPORTANTES EN LA QUÍMICA DEL AGUA.

EL  $\text{CO}_2$  ES SÓLO EL 0.035% EN VOLUMEN DEL AIRE SECO. ESTA CONCENTRACIÓN VARÍA DE LOCALIDAD EN LOCALIDAD Y CON LA TEMPORADA.

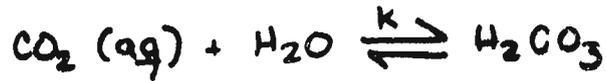
CON FINES DE CÁLCULO LA CONCENTRACIÓN DE  $\text{CO}_2$  EN LA ATMÓSFERA SE TOMARÁ COMO 350 ppm EN AIRE SECO.

### EJERCICIO

¿CUAL SERÁ LA CONCENTRACIÓN DE  $\text{CO}_2$  EN AGUA A 25°C EN EQUILIBRIO CON AIRE CON 350 ppm DE  $\text{CO}_2$ ?

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2]_{(aq)} &= K P_{\text{CO}_2} = [(1 - 0.0313) 0.00035] (3.38 \times 10^2) \\ &= 1.15 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

El  $\text{CO}_2$  disuelto en agua a menudo se representa como  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :

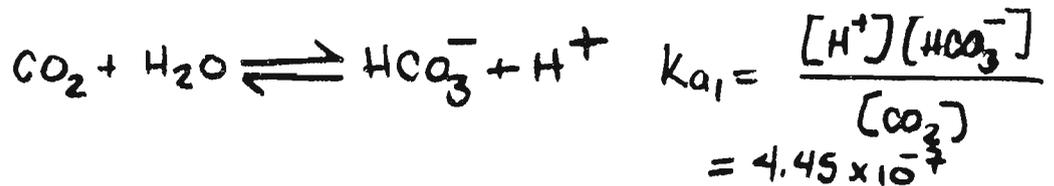


La constante de equilibrio  $K = 2 \times 10^{-3}$  a  $25^\circ\text{C}$ . Sólo una parte del  $\text{CO}_2$  es  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

SISTEMA CARBONATOS



Puede ser descrito por las siguientes ecuaciones:



$$pK_{a1} = -\log K_{a1} \quad pK_{a1} = 6.35 \quad pK_{a2} = 10.33$$

→ Las especies predominantes formadas por el  $\text{CO}_2$  en disolución dependen del pH. Estas fracciones  $\alpha_x$  están representadas por:

$$\alpha_{\text{CO}_2} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]}$$

$$\alpha_{\text{HCO}_3^-} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]}$$

$$\alpha_{\text{CO}_3^{2-}} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]}$$

Substituyendo la expresión de  $K_{a1}$  y  $K_{a2}$  se obtiene  $\alpha$  como función de  $[\text{H}^+]$  y de las constantes de disolución.

$$\alpha_{\text{CO}_2} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]}$$

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \quad \therefore [\text{CO}_2] = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_{a1}}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{a2}}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_{a2}[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]}$$

$$\alpha_{\text{CO}_2} = \frac{\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_{a1}}}{\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_{a1}} + \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{a2}} + \frac{K_{a2}[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]}}$$

$$\alpha_{\text{CO}_3} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/K_{a1}}{\frac{1}{K_{a1} K_{a2} [\text{H}^+]} \left[ [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] K_{a2} [\text{H}^+] + [\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+] K_{a1} + K_{a2} [\text{HCO}_3^-] K_{a1} K_{a2} \right]}$$

$$= \frac{K_{a1} K_{a2} [\text{H}^+] \left[ (\text{H}^+) [\text{HCO}_3^-] \right]}{K_{a1} \left( [\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-] K_{a2} [\text{H}^+] + [\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}] [\text{H}^+] K_{a1} + K_{a2} [\text{HCO}_3^-] K_{a1} K_{a2} \right)}$$

$$= \frac{K_{a2} [\text{H}^+]^2 [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]^2 [\text{HCO}_3^-] K_{a2} + [\text{H}^+]^2 [\text{CO}_3^{2-}] K_{a1} + K_{a2}^2 [\text{HCO}_3^-] K_{a1}}$$

$$K_{a2} [\text{H}^+]^2 \left( \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_{a2}} \right)$$

$$K_{a2} [\text{H}^+]^2 \left( \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_{a2}} \right) + [\text{H}^+]^2 [\text{CO}_3^{2-}] K_{a1} + K_{a2}^2 K_{a1} \left( \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_{a2}} \right)$$

$$\frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}] [\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}] \left( [\text{H}^+]^2 + [\text{H}^+] K_{a1} + K_{a1} K_{a2} \right)}$$

$$\alpha_2 = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+]^2 + [\text{H}^+] K_{a1} + K_{a1} K_{a2}}$$

## EJERCICIO

$$\alpha_{\text{HCO}_3^-} = \frac{K_{a1} [\text{H}^+]}{[\text{H}^+]^2 + K_{a1} [\text{H}^+] + K_{a1} K_{a2}}$$

$$\alpha_{\text{CO}_3^{2-}} = \frac{K_{a1} K_{a2}}{[\text{H}^+]^2 + K_{a1} [\text{H}^+] + K_{a1} K_{a2}}$$

LOS CALCULOS DE ESTAS EXPRESIONES MUESTRAN

- CUANDO  $\text{pH} = \text{p}K_{a1}$   $\alpha_{\text{CO}_2} = \alpha_{\text{HCO}_3^-}$
- CUANDO  $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2})$ ,  $\alpha_{\text{HCO}_3^-}$  ES MÁXIMO = 0.92
- CUANDO  $\text{pH} = \text{p}K_{a2}$   $\alpha_{\text{HCO}_3^-} = \alpha_{\text{CO}_3^{2-}}$
- PARA  $\text{pH} \gg \text{p}K_{a2}$   $\alpha_{\text{CO}_3^{2-}} \approx 1$

## TAREA

CONSTRUIR UN GRÁFICO DE  $\alpha_{\text{CO}_2}$ ,  $\alpha_{\text{HCO}_3^-}$ ,  $\alpha_{\text{CO}_3^{2-}}$  VS pH

## ALCALINIDAD

ES LA CAPACIDAD DEL AGUA DE ACEPTAR  $H^+$

→ ES UN PARÁMETRO DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA.

- A MENUDO, AGUA MUY ALCALINA TIENE PH ALTO Y NIVELES ALTOS DE SÓLIDOS DISUELTOS.
- PUEDE ASOCIARSE CON DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA. TAMBIEN CON LA HABILIDAD PARA MANTENER EL CRECIMIENTO DE ALGAS (PRODUCTIVIDAD).

### ESPECIES RESPONSABLES



A PH=7 LA  $[H^+]$  DISMINUYE LA ALCALINIDAD Y DEBE SER RESTADA PARA CALCULAR ALCALINIDAD TOTAL:

$$[ALC] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [HO^-] - [H^+]$$

## OTROS INDICADORES

### - PLAGUICIDAS

INSECTICIDAS

CLORADOS

FUNGICIDAS

FOSFORADOS

HERBICIDAS

TRIAZINICOS

### - FENOL Y COMPUESTOS FENÓLICOS

FENOL

NITROFENOLES

CLOROFENOLES

### - BIFENILOS POLICLORADOS

HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS

SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN

DIOXINAS Y FURANOS.

ADICIONAL AL ANÁLISIS DE C.F. SE UTILIZAN INDICADORES METABÓLICOS.

EL MAS USUAL ES EL COPROSTANOL, ESTE METABOLITO SE GENERA ÚNICAMENTE COMO RESULTADO DEL PROCESO METABOLICO EN HUMANOS.

LA IDENTIFICACIÓN DE COPROSTANOL EN AGUA CON COLIFORMES FECALES SUGIERE QUE DICHA CONTAMINACIÓN ES DEBIDA A DESCARGAS DOMICILIARIAS DE AGUA USADA.

EL ORGANISMO QUE MÁS SE ACERCA A LOS REQUE-  
RIMIENTOS PERTENECE A LOS COLIFORMES FECALES.

ESTOS ORGANISMOS LOS FORMAN VARIAS CEPAS  
DE BACTERIAS, PRINCIPALMENTE *Escherichia*  
*coli*, Y SE ENCUENTRAN EN EL TRACTO INTESTINAL  
DE ANIMALES DE SANGRE CALIENTE. SON EXCRET-  
ADOS EN LAS HECES.

LOS C.F. SON NO PATÓGENOS Y SE CONSIDERA QUE  
TIENEN UN TIEMPO DE VIDA SUPERIOR, FUERA DE SU  
ORGANISMO HUÉSPED, MAYOR QUE LOS PATÓGENOS.

LA TÉCNICA MAS COMÚN DE DETERMINACIÓN DE C.F.  
ES POR FILTRO DE MEMBRANA. TAMBIÉN SE  
PUEDE USAR LA TÉCNICA DE TUBOS MÚLTIPLES Y  
ÚLTIMAMENTE LA DE SUSTRATO ESPECÍFICO  
(COLILERT®).

→ INDICES QUÍMICOS DE CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

COLIFORMES FECALES ← [ ANIMALES  
HUMANOS

EL ANÁLISIS DE C.F. NO BASTA PARA DETERMINAR  
SI LA CONTAMINACIÓN PROVIENE DE DESECHOS  
HUMANOS.

# HELMINTOS

→ EL CICLO DE VIDA DE ESTOS PATÓGENOS INVOLUCRA DOS O MÁS HUESPEDES ANIMALES UNO DE LOS CUALES PUEDE SER HUMANO.

LA CONTAMINACIÓN DE AGUA CON HELMINTOS PUEDE SER DEBIDA A DESECHOS HUMANOS O ANIMALES CON HELMINTOS.

EL USO DE AGUA USADA PARA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DE HORTALIZAS ES UNA DE LAS PRINCIPALES RAZONES DE LA AMPLIA DISTRIBUCIÓN DE ESTOS PARÁSITOS EN HUMANOS.

LOS HELMINTOS SON RESISTENTES A VARIOS TRATAMIENTOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA. LOS HUEVOS DE HELMINTO PUEDEN SER CAPACES DE RESISTIR CLORACIÓN. E INCLUSO ALTAS TEMPERATURAS.

VIRUS. SON ESTRUCTURAS BIOLÓGICAS MÁS PEQUEÑAS CONOCIDAS QUE CONTIENEN TODA LA INFORMACIÓN GENÉTICA PARA SU REPRODUCCIÓN

FORZOSAMENTE REQUIEREN DE UN HUESPED PARA VIVIR.

→ LOS SINTOMAS INCLUYEN DESORDEN DEL SISTEMA NERVIOSO → HEPATITIS, POLIO

ANÁLISIS → PCR

PROTOZOARIOS. SON ORGANISMOS MÁS COMPLEJOS QUE VIRUS Y BACTERIAS. PUEDEN VIVIR LIBREMENTE O COMO PARASITOS.

→ SE ENCUENTRAN AMPLIAMENTE DISTRIBUIDOS EN AGUA SUPERFICIAL

PRODUCEN DESORDENES GASTROINTESTINALES DE MENOR GRAVEDAD QUE LAS BACTERIAS.

Giardia lamblia ES UN PROTOZOOARIO QUE HA SIDO REPORTADO CAUSAR GIARDIASIS EN PERSONAS QUE BEBIERON AGUA SUPERFICIAL NO TRATADA.

## PARAMETROS BIOLÓGICOS

**PATÓGENOS.** SON ORGANISMOS CAPACES DE INFECTAR O TRANSMITIR ENFERMEDADES A HUMANOS.

→ PUEDEN SER TRANSPORTADOS POR LOS CAUSES NATURALES Y CONVERTIRSE EN MIEMBROS TEMPORALES DE SISTEMAS ACUÁTICOS.

→ MUCHOS PATÓGENOS SON CAPACES DE SOBREVIVIR EN AGUA Y MANTENER SU CAPACIDAD INFECCIOSA DURANTE PERIODOS DE TIEMPO CONSIDERABLE.

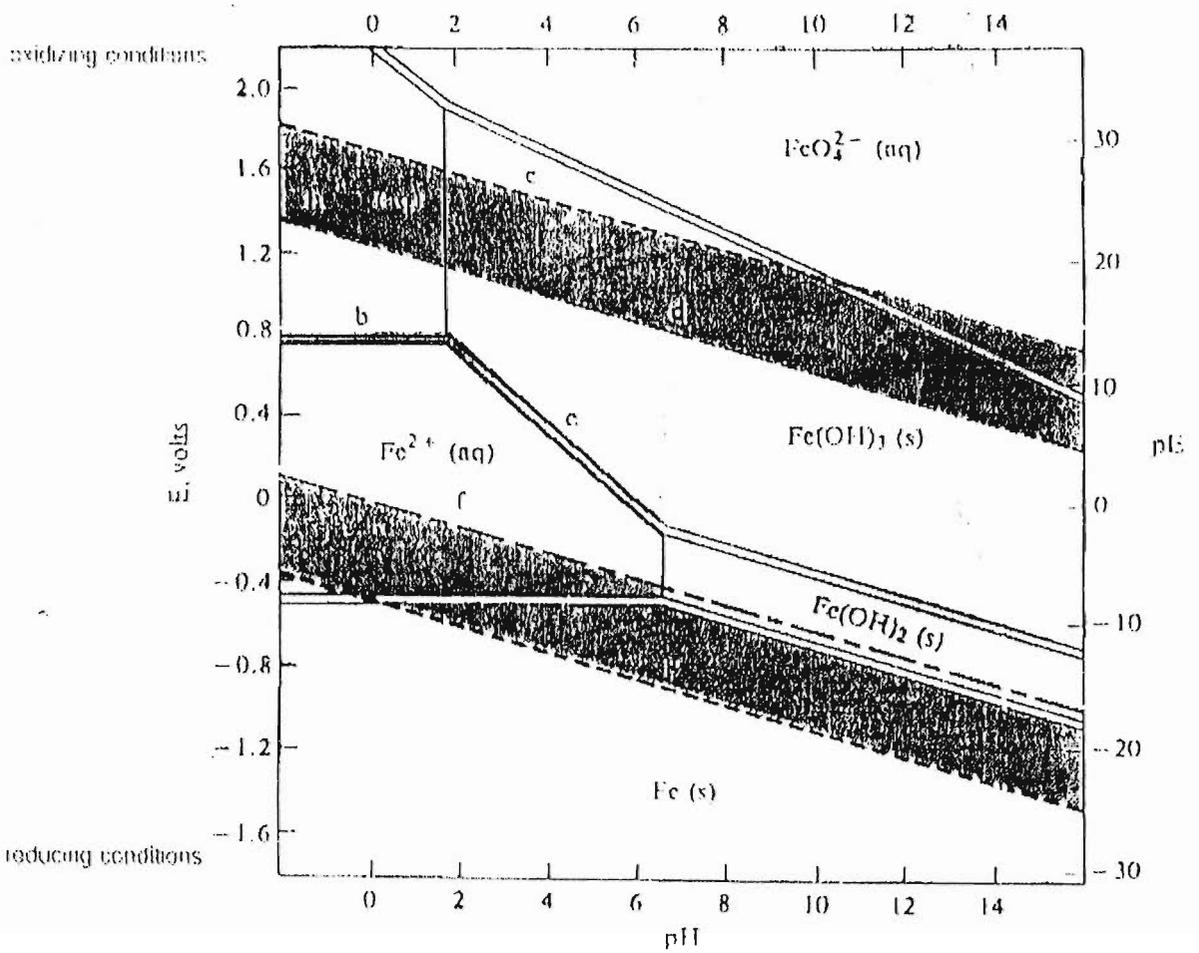
**BACTERIAS.** SON ORGANISMOS UNICELULARES USUALMENTE INCOLOROS Y SON LA FORMA DE VIDA MAS SIMPLE CAPAZ DE SINTETIZAR PROTOPLASMA DEL AMBIENTE.

ENTRE LAS MÁS IMPORTANTES

**CÓLERA.** TRANSMITIDO POR VIBRIO CHOLERAE.

CAUSA VÓMITO Y DIARREA. SIN EL TRATAMIENTO ADECUADO, PUEDE PRODUCIR LA MUERTE.

→ TIFOIDEA



LA FRONTERA ENTRE LAS FASES SÓLIDAS  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  Y  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  DEPENDE TAMBIÉN DE  $pE$  Y  $pH$ .

$$K_{ps} = \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2} = 8 \times 10^{12} \quad K'_{ps} = \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} = 9.1 \times 10^3$$

$$pE = 13.2 + \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

$$pE = 13.2 + \log \frac{K'_{ps} [\text{H}^+]^3}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

$$pE = 13.2 + \log \frac{K'_{ps} [\text{H}^+]^3}{K_{ps} [\text{H}^+]^2}$$

$$pE = 13.2 + \log \frac{9.1 \times 10^3}{8 \times 10^{12}} + \log [\text{H}^+]$$

$$pE = 4.3 - pH$$

→ CUANDO  $pE > 13.2$  PRECIPITA  $Fe(OH)_3$  DE LA SOLUCIÓN DE  $Fe^{3+}$ . EL PH AL CUAL OCURRE LA PRECIPITACIÓN DEPENDERÁ DE LA CONCENTRACIÓN DE  $Fe^{3+}$ .

PARA ESTE EJEMPLO  $Fe^{3+} = 1 \times 10^{-5} M$  ENTONCES:

$$[H^+]^3 = \frac{[Fe^{3+}]}{K_{ps}} = \frac{1 \times 10^{-5}}{9.1 \times 10^3} \Rightarrow pH = 2.99$$

DE LA MISMA FORMA, LA FRONTERA ENTRE  $Fe^{2+}$  Y  $Fe(OH)_2(s)$  PUEDE SER DEFINIDA SUPONIENDO

$$[Fe^{2+}] = 1 \times 10^{-5} M, \quad [H^+]^2 = \frac{[Fe^{2+}]}{K_{ps}} = \frac{1 \times 10^{-5}}{8 \times 10^{12}} = 8.95$$

EN UN AMPLIO RANGO DE  $pE$ - $pH$ ,  $Fe^{2+}$  ES LA ESPECIE PREDOMINANTE EN EQUILIBRIO CON  $Fe(OH)_3$ . LA FRONTERA ENTRE ESTAS ESPECIES DEPENDE DE  $pE$  Y  $pH$ .

$$\text{Así } K_{ps} = \frac{[Fe^{3+}]}{[H^+]^3} = 9.1 \times 10^3 \quad \text{y } pE = 13.2 + \log \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$$

$$pE = 13.2 + \log \frac{K_{ps} [H^+]^3}{[Fe^{2+}]} = 13.2 + \log 9.1 \times 10^3 - \log 1 \times 10^{-5} + 3 \times \log [H^+]$$

$$pE = 22.2 - 3pH$$

## INDICADORES PATOGENICOS

EL ANÁLISIS PARA CONOCER TODOS LOS PATÓGENOS PODRÍA SER MUY CARO Y DE INVERSIÓN DE TIEMPO.

USUALMENTE, LAS PRUEBAS DE PATÓGENOS ESPECÍFICOS SE REALIZAN CUANDO SE SOSPECHA LA PRESENCIA DE ALGÚN ORGANISMO EN PARTICULAR.

UN ORGANISMO INDICADOR ES AQUEL CUYA PRESENCIA SUGIERE QUE EXISTE CONTAMINACIÓN ASÍ COMO LA NATURALEZA Y CANTIDAD DEL CONTAMINANTE.

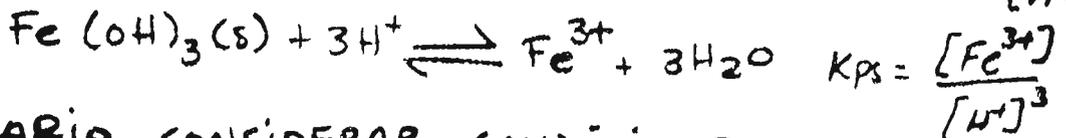
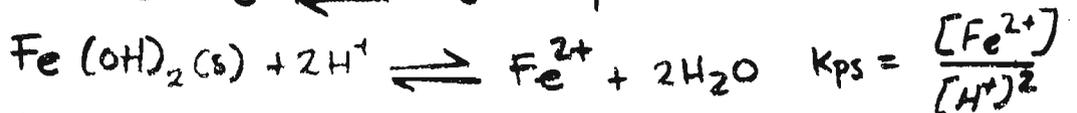
IDEALMENTE, EL INDICADOR DEBE:

- SER APLICABLE A CUALQUIER TIPO DE AGUA
- ESTAR PRESENTE CUANDO OTROS PATÓGENOS ESTEN
- ESTAR AUSENTE CUANDO OTROS NO LO ESTEN
- PERMITIR EL ANÁLISIS RUTINARIO SIN INTERFERENCIAS
- NO SER PATOGENICO POR SÍ MISMO

## DIAGRAMAS pE - pH

→ LA RELACIÓN ENTRE pE Y pH EN AGUA SE PUEDE EXPRESAR EN DIAGRAMAS pE - pH. EN ESTOS ES POSIBLE INCLUIR LAS ESPECIES FORMADAS POR EJEMPLO PARA UN METAL EN DISOLUCIÓN.

POR EJEMPLO PARA Fe, SUPONIENDO LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA =  $1 \times 10^{-5}$  M, ES NECESARIO CONSIDERAR EL SIGUIENTE EQUILIBRIO:



ES NECESARIO CONSIDERAR CONDICIONES FRONTERA. LAS PRIMERAS DOS SON LOS LÍMITES OXIDANTE Y REDUCTOR DEL AGUA. EL DIAGRAMA pE - pH DEBE IR ENTRE LAS DOS FRONTERAS DEFINIDAS POR ESAS ECUACIONES

POR DEBAJO DE pH=3,  $\text{Fe}^{3+}$  PUEDE EXISTIR EN EQUILIBRIO CON  $\text{Fe}^{2+}$ , LA SEPARACIÓN ENTRE AMBAS ESPECIES DONDE  $[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Fe}^{2+}]$  ESTÁ DADO POR:

$$pE = 13.2 + \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} \quad \text{como } [\text{Fe}^{3+}] = [\text{Fe}^{2+}]$$

$$pE = 13.2$$

PARA AGUA CON  $\text{pH} = 7$  LAS ECUACIONES DAN  
 $20.75 - 7 = 13.75$  y  $-7$

PARA EL RANGO DE  $\text{pE}$  EN AGUA.

## VALORES DE $\text{pE}$ EN SISTEMAS DE AGUA

UN VALOR SIGNIFICATIVO DE  $\text{pE}$  ES EN AGUA A  $\text{pH} = 7$   
 EN EQUILIBRIO TERMODINAMICO CON ATMOSFERA.

EN ESTAS CONDICIONES  $P_{\text{O}_2} = 0.21 \text{ atm}$  y  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$

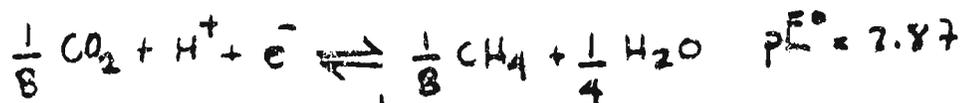
ENTONCES  $\text{pE} = \text{pE}^\circ + \log (P_{\text{O}_2}^{1/4} [\text{H}^+])$

$$= 20.75 + \log [(0.21)^{1/4} (10^{-7})] = \underline{\underline{13.5}}$$

PARA EL OTRO EXTREMO, CONDICIONES REDUCTORAS,  
 EL AGUA PRODUCE  $\text{CO}_2$  Y  $\text{CH}_4$  MEDIANTE PROCESOS  
 BIOLÓGICOS.

SUPONIENDO  $P_{\text{CO}_2} = P_{\text{CH}_4}$  Y  $\text{pH} = 7$

LA SEMIRREACCIÓN INVOLUCRADA SERÁ



ENTONCES  $\text{pE} = 2.87 + \log \frac{P_{\text{CO}_2}^{1/8} [\text{H}^+]}{P_{\text{CH}_4}^{1/8}} = 2.87 + \log [\text{H}^+]$

$$\text{pE} = 2.87 - 7$$

$$\text{pE} = -4.13$$

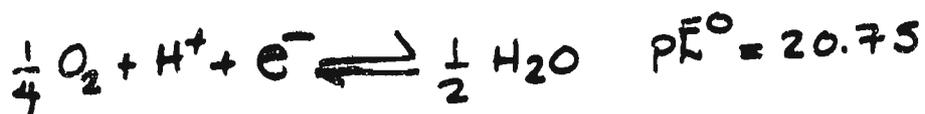
ÉSTAS DOS REACCIONES DETERMINAN LOS LÍMITES DE  $pE$  EN AGUA.

→ LA CONDICIÓN A LA QUE EL OXÍGENO DE LA OXIDACIÓN DEL AGUA TIENE 1 ATM DE PRESIÓN SE CONSIDERA EL LÍMITE DE OXIDACIÓN.

→ UNA PRESIÓN DE 1 ATM DE  $H_2$  SE CONSIDERA EL LÍMITE DE REDUCCIÓN.

LAS ANTERIORES SON CONDICIONES FRONTERA DEL CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE  $pE$  EN AGUA.

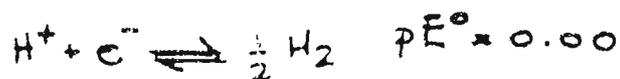
SUPONIENDO  $P_{O_2} = 1$  Y CONSIDERANDO LA ECUACIÓN (A):



$$pE = pE^\circ + \log \left[ (P_{O_2})^{1/4} [H^+] \right]$$

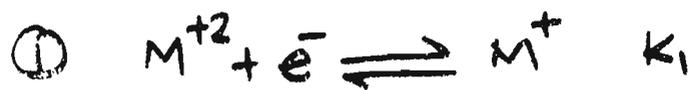
$pE = 20.75 - pH$  ← ESTA ECUACIÓN DEFINE LA DEPENDENCIA DEL LÍMITE OXIDANTE DEL AGUA CON  $pH$ .

LA RELACIÓN  $pE - pH$  PARA EL LÍMITE REDUCTOR DEL AGUA ESTA DADO POR:



$$pE = pE^\circ + \log [H^+] \Rightarrow pE = -pH$$

DE FORMA SIMILAR PARA PE



$$k_1 = \frac{[M^+]}{[M^{2+}][e^-]} \Rightarrow \log k_1 = \log \frac{1}{[e^-]} + \log \frac{[M^+]}{[M^{2+}]}$$

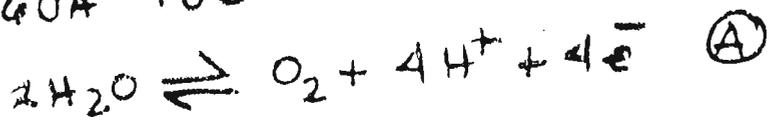
$$-\log [e^-] = \log k_1 - \log \frac{[M^+]}{[M^{2+}]}$$

$$pE = pE^0 - \log \frac{[M^+]}{[M^{2+}]} \quad \text{si } pE^0 = \log k_1$$

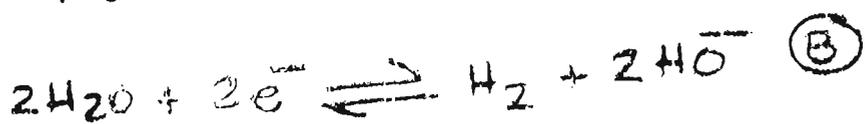
LOS LÍMITES DE PE EN AGUA

→ EXISTEN LÍMITES DEPENDIENTES DEL pH PARA LOS VALORES DE PE EN LOS CUALES EL AGUA ES TERMODINÁMICAMENTE ESTABLE

EL AGUA PUEDE OXIDARSE



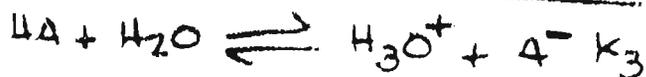
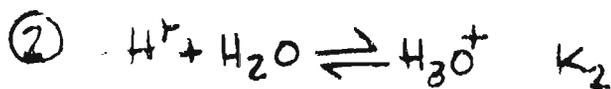
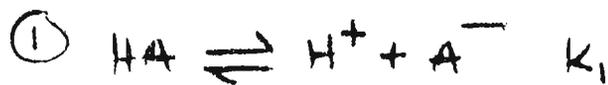
O DEBE REDUCIDA



## ACTIVIDAD DE ELECTRON Y pE

ASÍ COMO EL pH ES UNA MEDICIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE PROTONES ( $H^+$ ) EN SOLUCIÓN. pE ES UNA MEDIDA DE LA DISPONIBILIDAD DE ELECTRONES EN SOLUCIÓN.

PARA pH



$K_1$ ,  $K_2$  Y  $K_3$  SON LAS CONSTANTES PARA LA SÍMIL REACCIÓN DE DISOCIACIÓN

POR CONVENCION  $K_2 = 1$  Y  $K_3 = K_1 K_2$

$$K_1 = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \Rightarrow pK_1 = -\log K_1 \Rightarrow \log \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

$$\log [H^+] + \log \frac{[A^-]}{[HA]} = \log K_1$$

$$\log \frac{[A^-]}{[HA]} - \log K_1 = -\log [H^+]$$

$$pH = pK_1 + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

## EJERCICIO

EL PH DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN SE MIDIÓ EN CAMPO Y RESULTÓ 7.8 A 25°C. SE TOMÓ UNA MUESTRA QUE SE DEJÓ POR ACCIDENTE AL SOL DANDO LUGAR A UN PROCESO DE FOTOSÍNTESIS. AL LLEGAR AL LABORATORIO EL PH = 10.2. LA ATMÓSFERA EN LA MUESTRA SE ENCONTRÓ CONTENÍA EL 40% DEL O<sub>2</sub> INICIAL A 25°C. SUPONIENDO QUE LA REACCIÓN



GOBIERNA EL PROCESO ¿ CUAL SERÁ EL CAMBIO DE pE EN LA MUESTRA ?

$$pE = pE^0 - \frac{1}{n} \log K_{eq} \quad K_{eq} = \frac{[H_2O]^2}{[O_2][H^+]^4}$$
$$pE = pE^0 - \frac{1}{4} \log \frac{1}{[O_2][H^+]^4}$$

$$pE = 20.8 - \frac{1}{4} \log \frac{1}{(2.6 \times 10^{-4})(10^{-7.8})^4}$$

$$pE_1 = 12.9$$

CUANDO LA MUESTRA LLEGÓ AL LABORATORIO

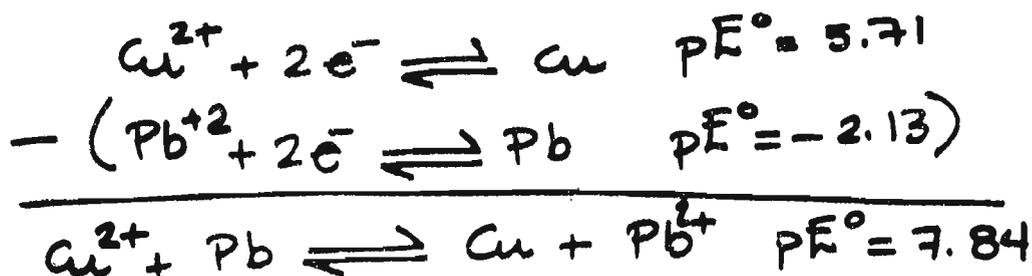
$$pE_2 = 20.8 - \frac{1}{4} \log \frac{1}{[(2.6 \times 10^{-4})(0.4)](10^{-10.2})^4}$$

$$pE_2 = 7.6$$

UNA SOLUCIÓN DE  $\text{Cu}^{2+}$  FLUYE POR UNA TUBERÍA DE PLOMO Y ÉSTE ADQUIERE UNA CAPA DE COBRE METÁLICO MEDIANTE LA REACCIÓN:



ESTA REACCIÓN SE PUEDE DIVIDIR EN



ENTONCES:

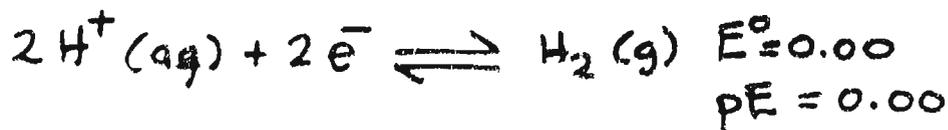
$$pE = pE^\circ + \frac{1}{n} \log \frac{[\text{Cu}^{2+}][\text{Pb}]}{[\text{Cu}][\text{Pb}^{2+}]} = pE^\circ + \frac{1}{n} \log \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Pb}^{2+}]}$$

$$\text{SI LA } K_{eq} = \frac{[\text{Pb}^{2+}][\text{Cu}]}{[\text{Cu}^{2+}][\text{Pb}]} = \frac{[\text{Pb}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

$$\text{ENTONCES } pE = pE^\circ + \frac{1}{n} \log 1/K_{eq}$$

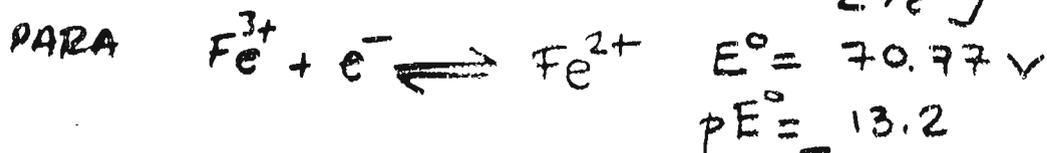
$$\text{TAMBIÉN } pE = pE^\circ - \frac{1}{n} \log K_{eq}$$

LOS VALORES DE  $pE$  ESTÁN DEFINIDOS EN FUNCIÓN DE LA SIGUIENTE SEMIREACCIÓN DONDE  $pE = 0$ :



ES POSIBLE CALCULAR EL VALOR DE  $pE$  DE LA ECUACIÓN DE NERNST:

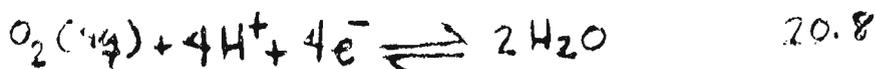
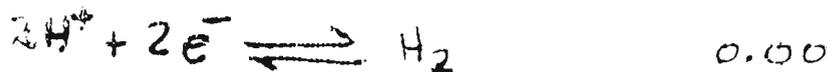
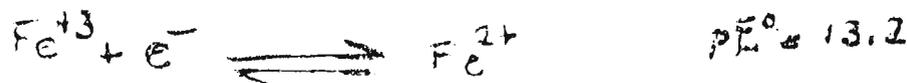
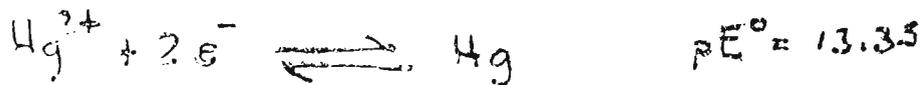
$$E = E^\circ + \frac{2.303 RT}{nF} \log \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$$



CONSIDERANDO QUE  $pE = \frac{E}{F}$  Y  $pE^\circ = \frac{E^\circ}{F}$

ENTONCES  $pE = pE^\circ + \frac{1}{n} \log \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$

### VALORES DE $pE^\circ$ PARA SEMIREACCIONES

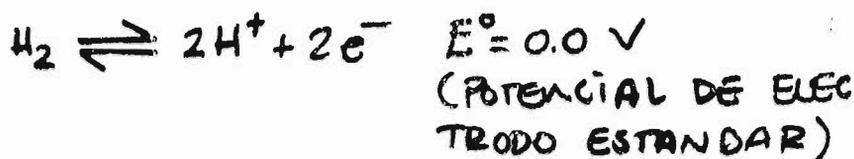


## ACTIVIDAD DE ELECTRON Y pE

LAS REACCIONES REDOX PUEDEN DIVIDIRSE EN SEMI-REACCIONES POR EJEMPLO:



PUEDA ESCRIBIR COMO



$$pE = \frac{E}{\frac{2.303 RT}{F}} = \frac{E}{0,0591} \quad \text{A } 25^\circ\text{C}$$

DONDE R = CONSTANTE DE LOS GASES IDEALES

T = TEMPERATURA

F = CONSTANTE DE FARADAY

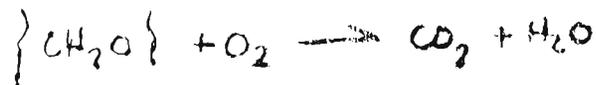
$$pE^\circ = \frac{E^\circ}{\frac{2.303 RT}{F}} = \frac{E^\circ}{0.0591} \quad \text{A } 25^\circ\text{C}$$

TAMBIÉN  $pE = -\log(a_{e^-})$  DONDE  $a_{e^-}$  ES LA ACTIVIDAD DE ELECTRÓN.

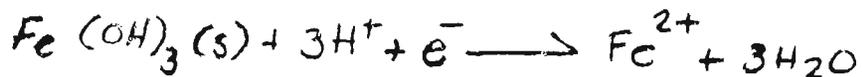
## Oxidación y Reducción

LOS SISTEMAS REDOX INVOLUCRAN CAMBIOS DEL ESTADO DE OXIDACIÓN DE LOS REACTIVOS.

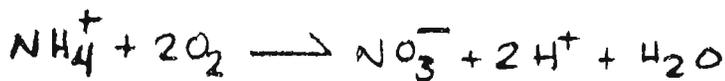
ESTAS REACCIONES SON IMPORTANTES EN LA NATURALEZA Y EN QUÍMICA ACUÁTICA. POR EJEMPLO LA REDUCCIÓN DEL  $O_2$  POR MATERIA ORGÁNICA:



LA REDUCCIÓN DE  $Fe(III)$  INSOLUBLE A  $Fe(II)$  SOLUBLE



LA OXIDACIÓN DE  $NH_4^+$  A  $NO_3^-$  EN AGUA:



QUE ES MUY IMPORTANTE PARA TENER NITRÓGENO ASIMILABLE