

## PROGRAMA DE CURSO

### CALIDAD DE AGUA

#### A. Antecedentes generales del curso:

|                            |                              |        |            |          |                  |     |
|----------------------------|------------------------------|--------|------------|----------|------------------|-----|
| Departamento               | Ingeniería Civil (DIC)       |        |            |          |                  |     |
| Nombre del curso           | Calidad de agua              | Código | CI4165     | Créditos | 6                |     |
| Nombre del curso en inglés | <i>Water quality</i>         |        |            |          |                  |     |
| Horas semanales            | Docencia                     | 3      | Auxiliares | 1,5      | Trabajo personal | 5,5 |
| Carácter del curso         | Obligatorio                  | X      |            | Electivo |                  |     |
| Requisitos                 | CI3261: Ingeniería ambiental |        |            |          |                  |     |

#### B. Propósito del curso:

Este es un curso obligatorio de la mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental, y tiene como propósito que los y las estudiantes:

- Comprendan los principales mecanismos que determinan la calidad del agua en ambientes acuáticos naturales y en sistemas de tratamiento de agua.
- Identifiquen los principales parámetros físicos, químicos y biológicos que se utilizan para caracterizar la calidad del agua.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos para la resolución de problemas relacionados con obras y sistemas de ingeniería civil.

CE2: Interpretar y evaluar los métodos, herramientas y tecnologías utilizadas y sus resultados, siendo estas computacionales, experimentales, numéricas o analíticas, en la resolución de problemas asociados a obras y sistemas de ingeniería civil.

CEH6: Caracterizar y cuantificar la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del recurso hídrico en el sistema terrestre, tanto para condiciones normales como extremas.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación

fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

**CG3: Compromiso ético**

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

**CG4: Trabajo en equipo**

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

**CG5: Sustentabilidad**

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

### C. Resultados de aprendizaje:

| Competencias específicas | Resultados de aprendizaje   |
|--------------------------|---|
| CEH6                     | RA1: Realiza análisis de consistencia de datos de concentración de iones, existentes, considerando las principales condiciones de equilibrio químico relevantes en sistemas acuáticos (reacción ácido-base, electroneutralidad, entre otros).   |
| CE1, CE2                 | RA2: Formula y resuelve problemas de calidad del agua, incluyendo las principales reacciones químicas que controlan dicha calidad (reacciones ácido - base, reacciones en la interfaz y coordinación química, reacciones de precipitación/disolución y redox).  |
| CE1, CE2                 | RA3: Explica cómo el metabolismo de microorganismos en sistemas acuáticos incide en la calidad del agua, considerando en su análisis los ciclos biogeoquímicos relacionados, y los correspondientes parámetros de calidad.  |
| CEH6                     | RA4: Clasifica, en base a una comparación, los principales contaminantes en convencionales, no convencionales y emergentes en aguas naturales y servidas, considerando su comportamiento y remoción.  |
| CEH6                     | RA5: Verifica la consistencia y validez de los datos y parámetros recopilados en un programa de muestreo y monitoreo de calidad de agua, considerando metodologías de recopilación, análisis y validación de las mediciones.  |
| Competencias genéricas   | Resultados de aprendizaje   |
| CG1                      | RA6: Presenta, en forma oral, un análisis crítico de la normativa nacional e internacional asociada a la calidad del agua, demostrando claridad y precisión en el planteamiento de sus ideas, capacidad para argumentar, responder preguntas y resolver dudas.<br><br>RA7: Elabora un informe profesional de laboratorio, evidenciando en su escrito claridad, concisión y precisión técnica para relacionar los conceptos de calidad de agua vistos en el curso con el trabajo experimental. |

|          |  |
|----------|--|
| CG3, CG4 | RA8: Trabaja con su equipo en distintas actividades (mediciones en laboratorio e interpretación de datos, informes, presentaciones y discusiones), en un marco de responsabilidad, colaboración, planificación y respeto.                        |
| CG5      | RA9: Evalúa y propone medidas de control de la calidad del agua, usando conceptos básicos de las reacciones químicas que controlan dicha calidad, donde considera, entre otros factores, costos y beneficios, y los efectos presentes y futuros. |

#### D. Unidades temáticas:

| Número  | RA al que tributa | Nombre de la unidad  | Duración en semanas |
|---|-------------------|--|---------------------|
| 1   | RA1               | Nomenclatura, electroneutralidad y equilibrio químico  | 2 semanas           |
| <b>Contenidos</b>   |                   | <b>Indicador de logro</b>  |                     |
| 1.1. Herramientas para calidad del agua.<br>1.2. Propiedades del agua.<br>1.3. Unidades de concentración y expresiones útiles.<br>1.4. Electroneutralidad.<br>1.5. Iones mayores y menores.<br>1.6. Equilibrio químico. |                   | El/la estudiante:<br><br>1. Maneja las principales unidades de concentración y expresiones relacionadas a estas, en ejemplos que se le presentan, considerando su conversión.<br>2. Identifica los principales iones en aguas naturales, considerando su origen y relevancia, a partir de ejemplos que se le presentan.<br>3. Realiza análisis de consistencia en base a datos de concentración de iones.<br>4. Considera las condiciones de equilibrio químico para aplicarlas a distintas reacciones químicas. |                     |
| <b>Bibliografía de la unidad</b>  |                   | Capítulos 1 y 3 Snoeyink y Jenkins   |                     |

| Número  | RA al que tributa  | Nombre de la unidad  | Duración en semanas |
|---|--------------------|--|---------------------|
| 2   | RA1, RA6, RA8, RA9 | Reacciones que controlan la calidad del agua   | 9 semanas           |
| Contenidos  |                    | Indicador de logro   |                     |
| <p>2.1. Definiciones de reacciones y sistemas ácido-base.</p> <p>2.2. Determinación del pH de equilibrio y diagramas pC pH.</p> <p>2.3. Sistema carbonato.</p> <p>2.4. Alcalinidad y acidez.</p> <p>2.5. Intensidad de buffer.</p> <p>2.6. Reacciones en la interfaz y coordinación química:<br/>-Coloides en sistemas acuáticos.<br/>-Adsorción e isothermas.<br/>-Tipos de coordinación química.</p> <p>2.7. Reacciones de precipitación/disolución:<br/>-Solubilidad y relación con producto de solubilidad.<br/>-Tipos de solubilidad.<br/>-Efecto de la coordinación química en la solubilidad.<br/>-Dureza y estabilidad.</p> <p>2.8. Reacciones redox aplicadas a calidad del agua.<br/>-Estados de oxidación.<br/>-Semirreacciones de oxidación y reducción.<br/>-Diagramas pE pH y estabilidad del agua.</p> |                    | <p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analiza y resuelve problemas de equilibrio ácido base, considerando la identificación de ácidos y bases fuertes y débiles en función de los valores de las constantes de equilibrio correspondientes.</li> <li>2. Construye y utiliza diagramas pC pH, aplicables a la resolución de problemas de equilibrio ácido-base.</li> <li>3. Estima la alcalinidad en base a su definición matemática y empírica, identificando las especies ácido base que contribuyen a la alcalinidad.</li> <li>4. Estima la intensidad de buffer.</li> <li>5. Reconoce las propiedades de los coloides y su relevancia en sistemas acuáticos.</li> <li>6. Usa las isothermas de adsorción para diseño preliminar de un sistema de adsorción, ajustando un modelo.</li> <li>7. Resuelve problemas de coordinación química.</li> <li>8. Resuelve problemas de solubilidad incluyendo y sin incluir el efecto de la coordinación química, identificando condiciones de subsaturación, saturación y supersaturación.</li> <li>9. Construye y utiliza diagramas pC pH para evaluar la solubilidad y el efecto de la formación de complejos en ésta.</li> <li>10. Describe el origen y efectos de la dureza del agua.</li> <li>11. Plantea ecuaciones redox globales, identificando las principales especies sujetas a reacciones redox.</li> <li>12. Construye y utiliza diagramas pE pH.</li> <li>13. Analiza críticamente con su equipo, en un marco de respeto, los principales aspectos de la normativa nacional de calidad del agua, considerando implicancias para la realidad nacional (calidad natural de las aguas de Chile,</li> </ol> |                     |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
|                                  | tecnologías de tratamiento necesarias) y comparación con estándares internacionales. |
| <b>Bibliografía de la unidad</b> | Capítulos 4,5,6 y 7 Snoeyink y Jenkins.  |

| Número  | RA al que tributa  | Nombre de la unidad  | Duración en semanas |
|---|--------------------|--|---------------------|
| 3   | RA1, RA3, RA7, RA8 | Conceptos de microbiología acuática  | 2 semanas           |
| <b>Contenidos</b>   |                    | <b>Indicador de logro</b>  |                     |
| 3.1. Clasificación de los microorganismos.<br>3.2. Reacciones redox catalizadas por microorganismos.<br>3.3. Ciclos biogeoquímicos.<br>3.4. Microorganismos patógenos.<br>3.5. Evaluación de comunidades microbianas. |                    | El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clasifica a los microorganismos según distintos criterios, incluyendo forma y requerimiento de oxígeno, entre otros.</li> <li>2. Formula y resuelve ecuaciones redox con crecimiento bacteriano.</li> <li>3. Reconoce microorganismos indicadores e identifica técnicas de evaluación de comunidades microbianas.</li> <li>4. Ejecuta con su equipo, de manera planificada y colaborativa, una experiencia de laboratorio que incluye la medición de distintos parámetros de calidad del agua.</li> <li>5. Genera un informe profesional de laboratorio, en donde reporta las mediciones realizadas, analizando y relacionando con conceptos relevantes de calidad de agua.</li> </ol> |                     |
| <b>Bibliografía de la unidad</b>  |                    | Capítulo 2 Rittman y McCarty, Capítulo 19 Brock  |                     |

| Número   | RA al que tributa | Nombre de la unidad  | Duración en semanas |
|--|-------------------|--|---------------------|
| 4  | RA4               | Contaminación natural y antropogénica  | 1 semana            |
| <b>Contenidos</b>  |                   | <b>Indicador de logro</b>  |                     |
| 4.1. Clasificación de contaminantes.<br>4.2. Demandas de oxígeno.<br>4.3. Metales.<br>4.4. Emergentes. |                   | El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clasifica a los contaminantes del agua en convencionales, no convencionales y emergentes.</li> <li>2. Distingue entre parámetros DTeO, DBO y DQO identificando ventajas y desventajas.</li> <li>3. Identifica las principales características de contaminantes convencionales, no convencionales, y emergentes.</li> </ol> |                     |

| Bibliografía de la unidad  |                   | Cap 2 Metcalf y Eddie, Cap 2 Tchobanoglous y Schroeder   |                     |
|--|-------------------|--|---------------------|
| Número   | RA al que tributa | Nombre de la unidad  | Duración en semanas |
| 5  | RA5, RA8          | Recopilación, representación y análisis de datos   | 1 semana            |
| Contenidos   |                   | Indicador de logro   |                     |
| 5.1. Consideraciones para programas de muestreo de calidad del agua.<br>5.2. Técnicas de preservación y análisis de muestras de agua.<br>5.3. Limitaciones.<br>5.4. Validación de datos y relación con aspectos de nomenclatura, electroneutralidad y equilibrio químico.<br>5.5. Representación gráfica de datos. |                   | El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usa nociones básicas para diseñar un programa de muestreo y monitoreo de calidad del agua.</li> <li>2. Selecciona los parámetros que deben medirse in situ en un programa de muestreo y monitoreo de calidad de agua.</li> <li>3. Utiliza referencias para técnicas de muestreo, preservación y análisis según el analito.</li> <li>4. Realiza análisis de consistencia en base a distintos parámetros de calidad del agua.</li> <li>5. Explica las principales tendencias de parámetros de calidad en las aguas de Chile y su relación con los problemas más importantes a nivel nacional, discutiendo con sus pares en un marco de respeto.</li> </ol> |                     |
| Bibliografía de la unidad  |                   | Sección 1000 APHA, Vega et al. (2018), Pastén et al (2019, 2021).  |                     |

### E. Estrategias de enseñanza -aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clases expositivas.
- Presentaciones orales con instancias de diálogo y discusión sobre tópicos relevantes (tendencias de parámetros de calidad de agua, problemas de calidad de agua a nivel país).
- Actividad de laboratorio que incluyen mediciones de distintos parámetros de calidad de agua y su uso.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera diversas instancias de evaluación:

| Tipo de evaluación                  | Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación |
|-------------------------------------|---|
| • Controles                         | Evalúa RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA9.              |
| • Tareas en formato de presentación | Evalúa RA6, RA8.                                  |
| • Laboratorio                       | Evalúa RA7, RA8.                                  |
| • Examen                            | RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA9.                     |

*Al inicio del curso el cuerpo académico a cargo informará sobre el tipo de evaluación a realizar, la cantidad y las ponderaciones correspondientes.*

### G. Recursos bibliográficos:

#### Bibliografía principal:

- Snoeyink, Vernon; Jenkins, David (1980) Water Chemistry. John Wiley & Sons, Inc
- Rittman, Bruce E.; McCarty Perry L. (2001) Environmental Biotechnology: Principles and Applications. International Edition, McGraw-Hill
- Metcalf and Eddy (2014). Wastewater engineering treatment and reuse recovery, McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, George; Schroeder, Edward D. (1985) Water Quality: Characteristics, Modeling and Modification. 1ª Ed, Prentice Hall.
- Brock (2004). Biología de los microorganismos, 10 Ed, Prentice Hall.
- APHA (2005); Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.

- Pastén, P., Vega, A., Lizama, K., Guerra, P., & Pizarro, J. (2021). Water Quality. En B. Fernández & J. Gironás (Eds.), Water Resources of Chile (pp. 209-228). Cham: Springer International Publishing.
- Pastén, P., Vega, A., Guerra, P., Pizarro, J., & Lizama, K. (2019). Calidad del agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas Calidad del agua en las Américas Riesgos y Oportunidades: Asociación Interamericana de Academias de Ciencias.
- Vega, A. S., Lizama, K., & Pastén, P. A. (2018). Water Quality: Trends and Challenges. En G. Donoso (Ed.), Water Policy in Chile (pp. 25-51). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

**Bibliografía complementaria:**

- Stumm, Werner; Morgan, James J. (1996) Aquatic Chemistry. 3<sup>a</sup> Ed, John Wiley & Sons, Inc
- Manahan, Stanley E. (2000) Environmental Chemistry. 7<sup>a</sup> Ed, CRC Press.
- Morel, Francois M. M.; Hering, Janet G. (1993) Principles and applications of aquatic chemistry. 1<sup>a</sup> Ed, Wiley.
- Benjamin, Mark M. (2010) Water Chemistry. 1<sup>a</sup> Ed, Waveland Press.

**H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:**

|                 |  |
|-----------------|--|
| Vigencia desde: | Otoño, 2022  |
| Elaborado por:  | Katherine Lizama A.  |
| Validado por:   | Validación de pares académicos: Ana Lucía Prieto, Alberto de la Fuente<br>Validación general académicos del Departamento de Ingeniería Civil |
| Revisado por:   | Área de Gestión Curricular   |