



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

PROYECTO DE ADICIÓN DEL CAMPO DE CONOCIMIENTO INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA, DEL CAMPO DISCIPLINARIO AGUA SUBTERRÁNEA Y DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

FECHA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ACADÉMICO DEL PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN INGENIERÍA: 6 DE DICIEMBRE DE 2017

FECHA DE APROBACIÓN DEL CONSEJO TÉCNICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA: 9 DE MAYO DE 2018

FECHA DE OPINIÓN DEL CONSEJO ACADÉMICO DE ÁREA DE LAS CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS: 5 DE FEBRERO DE 2020

FECHA DE OPINIÓN FAVORABLE DEL CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSGRADO: 7 DE AGOSTO DE 2020

FECHA DE APROBACIÓN DEL H. CONSEJO UNIVERSITARIO: 10 DE DICIEMBRE DE 2020

TOMO II

ÍNDICE

	Pág.
<u>Obligatorio</u>	5
Geoestadística Aplicada al Agua Subterránea	7
Hidrología Subterránea	9
Hidrogeología Aplicada	11
Modelado Numérico de Flujo y de Transporte de Contaminantes	13
Seminario de Agua Subterránea	15
<u>Optativo</u>	17
Análisis Hidrológico	19
Diseño y Terminación de Pozos	21
Hidrogeofísica	25
Hidrogeoquímica y Calidad del Agua	27
Hidrología Superficial	29
Manejo y Gestión de los Recursos Hídricos Subterráneos	31
Remediación de Acuíferos	33
Técnicas Hidrogeológicas de Campo	37
Transporte de Solutos en Medios Saturados	41

FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL

PLAN DE ESTUDIOS OBLIGATORIO

Agua Subterránea



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: GEOESTADÍSTICA APLICADA AL AGUA SUBTERRÁNEA				
Clave:	Semestre: 1	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra		No. Créditos: 6
Carácter: Obligatorio		Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	3.0	48.0
	3.0	0.0		
Modalidad: Curso		Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación () Obligatoria (X) Indicativa ()				
Actividad académica subsecuente: Hidrología Aplicada, Modelado Numérico de Flujo y de Transporte de Solutos				
Actividad académica antecedente: Ninguna				
Objetivo general: El alumno conocerá y aplicará las bases de la estadística espacial para su empleo en el análisis de variables hidrogeológicas e hidrogeoquímicas y su aplicación en Sistemas de Información Geográfica.				

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	El problema inverso en hidrogeología	7.0	0.0
3	Métodos de estimación de parámetros	8.0	0.0
4	Estadísticos de diagnóstico e inferenciales en la modelación inversa	6.0	0.0
5	Geoestadística y funciones aleatorias	6.0	0.0
6	Análisis estructural	7.0	0.0
7	Método de kriging	6.0	0.0
8	Aplicaciones a la hidrogeología	6.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas	
1	Introducción	
	1.1	Marco conceptual de la asignatura
	1.2	Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicado a geoestadística
2	El problema inverso en hidrogeología	
	2.1	Estructura y parámetros de un modelo
	2.2	Existencia, unicidad y estabilidad de la solución inversa
	2.3	La modelación inversa como un problema de optimización
	2.4	Identificabilidad, discretización y parametrización
3	Métodos de estimación de parámetros	
	3.1	Modelos lineales en los parámetros y los modelos no lineales en los parámetros
	3.2	Incorporación de información previa
	3.3	Algoritmos de optimización no lineal
4	Estadísticos de diagnóstico e inferenciales en la modelación inversa	
	4.1	Estadísticos para el análisis de sensibilidad
	4.2	Medidas estadísticas del ajuste del modelo
	4.3	Estadísticos de los parámetros del modelo
	4.4	Incertidumbre de la predicción y pruebas de linealidad
5	Geoestadística y funciones aleatorias	
	5.1	Introducción a la geoestadística
	5.2	Funciones aleatorias estacionarias y funciones aleatorias intrínsecas
	5.3	Estacionariedad y ergodicidad
	5.4	Funciones aleatorias no intrínsecas y la variabilidad espacial e incertidumbre
6	Análisis estructural	
	6.1	Conceptos básicos
	6.2	Propiedades del semivariograma y las partes del semivariograma
7	Método de kriging	
	7.1	Kriging puntual y kriging por bloques
	7.2	Estimación del semivariograma
	7.3	Kriging universal y el kriging residual

8	Aplicaciones a la hidrogeología		
	8.1	Estimación de variables hidrogeológicas	
	8.2	Simulación de funciones aleatorias	
	8.3	Diseño de redes de observación	
Bibliografía Básica			
1	Beck J.V. and K.J. Arnold. (1977). <i>Parameter Estimation in Engineering and Science</i> . Editorial John Wiley & Sons.		
2	Fossen. H. (2016). <i>Structural Geology</i> . (2 ed.). Editorial Cambridge University Press.		
3	Londoño L.A. Valdés Q. J.C. (2012). <i>Geoestadística aplicada: Generación de mapas de interpolación para el estudio de fenómenos distribuidos espacialmente</i> . Editorial Académica Española.		
4	McKillup S., Darby D.M. (2010). <i>Geostatistics Explained. An Introductory Guide for Earth Scientists</i> . Editorial Cambridge University Press.		
5	Samper F.J. y Carrera J. (1990). <i>Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería</i> . Editorial Universitat Politècnica de Catalunya.		
6	Sun, Ne-Zheng. (1994). <i>Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media</i> V. 6. Boston. Editorial Kluwer Academic Publishers.		
Bibliografía Complementaria			
1	Walpole R.E., Myers R.H., Myers S.L. y Ye K.. (2012). <i>Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias</i> . (9 ed.). Editorial Pearson.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	(X)	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesional			
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología y conocimientos en SIG.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: sólidas bases en hidrogeología, matemáticas, estadística y sistemas geográficos de información.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Programa de Actividad Académica

Denominación: HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Clave:	Semestre: 1	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra	No. Créditos:
		Campo Disciplinario: Agua Subterránea	8
Carácter: Obligatorio	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica-práctica	Teoría:	Práctica:	64.0
	2.0	2.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		

Seriación: Sin Seriación () Obligatoria (X) Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Hidrogeología Aplicada

Actividad académica antecedente: Ninguna

Objetivo general: El alumno entenderá los elementos primarios de la hidrología subterránea. Estudiará los procesos que controlan la dinámica del agua subterránea, la interacción con otros componentes del ciclo hidrológico y con el medio ambiente, la mecánica natural de sistemas acuíferos regionales y las perturbaciones hidráulicas producidas por extracciones e inyecciones a través de captaciones.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	Propiedades de sistemas hidrogeológicos	4.0	2.0
3	Hidráulica de acuíferos y sistemas de flujo subterráneo	10.0	10.0
4	Hidráulica de pozos de agua subterránea	16.0	20.0
Total de horas:		32.0	32.0
Suma total de horas:		64.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas	
1	Introducción	
	1.1	Marco conceptual de la asignatura
	1.2	El ciclo hidrológico y su componente subterránea
	1.3	Huella hídrica mundial asociada al desarrollo de acuíferos regionales y transfronterizos
	1.4	Componentes, magnitudes y patrones globales del agua subterránea
	1.5	Contaminación del agua subterránea
	1.6	Situación actual del agua subterránea en México
	1.7	Legislación nacional y su comparativa con modelos internacionales de gestión hídrica
2	Propiedades de sistemas hidrogeológicos	
	2.1	Geología del agua subterránea
	2.2	Hidroestratigrafía e hidrofacies
	2.3	Tipología hidráulica de acuíferos
	2.4	Propiedades de almacenamiento, interconexión y retención
	2.5	Propiedades de transmisión y permeabilidad
	2.6	Propiedades biogeoquímicas, cinéticas, de transporte de solutos y calor
	2.7	Práctica computacional: análisis estadístico de parámetros hidráulicos usando códigos abiertos
3	Hidráulica de acuíferos y sistemas de flujo subterráneo	
	3.1	Mecánica de fluidos, energía mecánica y potencial hidráulico en medios porosos
	3.2	Ley de Darcy: generalización, dimensionalidad y aplicabilidad
	3.3	Derivación de la ecuación general de flujo
	3.4	Métodos gráficos para la solución general de flujo
	3.5	Sistemas regionales y locales de flujo subterráneo

		3.6	Sistemas no darcianos de flujo
		3.7	Conexión hidráulica agua superficial-agua subterránea
		3.8	Tipos y funcionamiento de manantiales
		3.9	Flujo multifásico en la zona vadosa
		3.10	Herramientas afines y prácticas computacionales usando software especializado
		3.11	Estudio de casos: configuración de redes de flujo subterráneo en diferentes acuíferos
4	Hidráulica de pozos de agua subterránea		
		4.1	Modelo directo e inverso en hidráulica de pozos
		4.2	Ejecución, diseño y análisis de pruebas hidráulicas en acuíferos
		4.3	Flujo radial
		4.4	Interpretación de pruebas de bombeo en régimen estacionario
		4.5	Interpretación de pruebas de bombeo en régimen transitorio
		4.6	Estimación de campos de bombeo e interferencias
		4.7	Bombeo en acuíferos limitados y teoría de las imágenes
		4.8	Pruebas a caudal variable y eficiencia hidráulica de pozos
		4.9	Interpretación transitoria usando análisis derivativos y gráficos-diagnóstico
		4.10	Geometrías y dimensiones de flujo: radial, esférico, lineal, bilineal
		4.11	Pruebas hidráulicas en acuíferos y yacimientos naturalmente fracturados
		4.12	Ruido y algoritmos de suavizado de la derivada del abatimiento
		4.13	Ensayos Slug: principios, aplicabilidad y métodos de análisis
		4.14	Introducción a la tomografía hidráulica 3D
		4.15	Herramientas afines y prácticas computacionales usando software especializado
		4.16	Estudio de casos: análisis e interpretación de pruebas hidráulicas en acuíferos

Bibliografía Básica

1	Fetter Jr. C.W. (2014). <i>Applied Hydrogeology</i> . (4 ed.). Editorial Pearson New International.
2	Fitts R.CH. (2013). <i>Groundwater Science</i> . (2 ed.). Editorial Elsevier.
3	Hiscock K.M., Bense F.V. (2014). <i>Hydrogeology, Principles and Practice</i> . (2 ed.). Editorial John Wiley & Sons.

Bibliografía Complementaria

1	Domenico P.A. (1998) <i>Physical and Chemical hydrogeology</i> . (2 ed.). Editorial John Wiley & Sons.
----------	--

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	(x)	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			

Perfil profesional

Formación académica: Doctorado en Hidrogeología con sólidos conocimientos teóricos y prácticos.
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos de aguas subterráneas, docencia e investigación vinculadas al análisis cuantitativo de sistemas acuíferos e hidráulica de pozos.
Especialidad: Hidrogeología.
Conocimientos específicos: Hidrogeología , hidrogeoquímica, modelación de flujo y nociones de sistemas geográficos de información.
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Programa de Actividad Académica

Denominación: HIDROGEOLOGÍA APLICADA

Clave:	Semestre: 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra	No. Créditos:
		Campo Disciplinario: Agua Subterránea	8
Carácter: Obligatorio	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica-práctica	Teoría:	Práctica:	Horas por semana:
	2.0	2.0	4.0
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		

Seriación: Sin Seriación () Obligatoria (X) Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Ninguna

Actividad académica antecedente: Hidrología Subterránea, Geoestadística Aplicada al Agua Subterránea

Objetivo general: El alumno aplicará el fundamento de la hidrología subterránea para resolver problemas clásicos y de vanguardia en el campo de la ingeniería del agua subterránea.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	1.0	0.0
2	Balance de aguas subterráneas	8.0	8.0
3	Evaluación de acuíferos costeros	8.0	8.0
4	Gestión de la recarga en acuíferos	8.0	6.0
5	Hidrogeología aplicada a obras civiles, mineras y petroleras	4.0	6.0
6	Tópicos adicionales a tratar	3.0	4.0
Total de horas:		32.0	32.0
Suma total de horas:		64.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
	1.2 Fundamentos de la ingeniería del agua subterránea
	1.3 Campos clásicos, emergentes y de vanguardia en la hidrogeología aplicada
2	Balance de aguas subterráneas
	2.1 Ecuación de balance y conservación de masa
	2.2 Componentes y limitaciones en el balance de agua subterránea
	2.3 Balance hidrometeorológico superficial
	2.4 Adquisición de datos hidrogeológicos de campo
	2.5 Cuantificación de parámetros de entrada, salida y almacenamiento
	2.6 Modelos hidrológicos globales de asimilación y su relación con los balances
	2.7 Técnicas de percepción remota y su relación con los balances
	2.8 Huella hídrica subterránea y disponibilidad de acuíferos
	2.9 Estudio de casos y actividades aplicadas basadas en análisis de proyectos de ingeniería
3	Evaluación de acuíferos costeros
	3.1 Flujo subterráneo con efectos de densidad variable
	3.2 Interfaz brusca, cuña de intrusión marina y contaminación de agua dulce con agua salada
	3.3 Predicción de la posición de la interfaz usando soluciones analíticas
	3.4 Evaluación de la cuña de intrusión usando métodos geofísicos
	3.5 Evaluación de la cuña de intrusión usando perfiles de salinidad
	3.6 Análisis y prevención del ascenso vertical de la interfaz producido por bombeo
	3.7 Métodos de control de la intrusión marina
	3.8 Soluciones costo-efectivas basadas en tecnologías subsuperficiales
	3.9 Gestión y manejo de acuíferos en entornos costeros
	3.10 Estudio de casos y actividades aplicadas basadas en análisis de proyectos de ingeniería

4	Gestión de la recarga en acuíferos	
	4.1	¿Qué es la recarga gestionada de acuíferos?
	4.2	Recarga natural, accidental, no gestionada y gestionada
	4.3	Métodos para la estimación espacio-temporal de la recarga natural
	4.4	Terminología y técnicas para gestionar la recarga
	4.5	Inyección a través de pozos
	4.6	Inyección a través de lagunas, bancos, tanques y dunas de filtración
	4.7	Tratamiento integrado suelo-acuífero
	4.8	Monitoreo hidrogeológico en proyectos de recarga gestionada
	4.9	Soluciones analíticas y numéricas para entender la recarga gestionada
	4.10	Legislación nacional y estándares internacionales
	4.11	Estudio de casos y actividades aplicadas basadas en análisis de proyectos de ingeniería
5	Hidrogeología aplicada a obras civiles, mineras y petroleras	
	5.1	Relación entre las aguas subterráneas y obras civiles, mineras y petroleras
	5.2	Ingeniería del agotamiento del nivel freático en obras civiles
	5.3	Diseño de esquemas de agotamiento usando modelos analíticos
	5.4	Diseño de esquemas de agotamiento usando modelos numéricos
	5.5	Hidrogeología y estabilidad de taludes
	5.6	Desagüe del agua subterránea en minas subterráneas y tajos a cielo abierto
	5.7	Control y manejo del agua producida en pozos petroleros
	5.8	Proyectos hidrogeológicos integrales y estudios de impacto ambiental en obras civiles, mineras y petroleras
	5.9	Estudio de casos y actividades aplicadas basadas en análisis de proyectos de ingeniería
6	Tópicos adicionales a tratar	
	6.1	Nexo agua-energía en plays no convencionales de gas y aceite en lutitas
	6.2	Acuíferos y secuestro de CO ₂ en la subsuperficie para mitigar el calentamiento global
	6.3	Ecohidrología, biodiversidad y ecosistemas dependientes del agua subterránea
	6.4	Hidrogeología urbana
	6.5	Sequía hidrogeológica, aguas subterráneas y cambio climático
	6.6	Otros a elección del profesor
	6.7	Estudio de casos y actividades aplicadas basadas en análisis de proyectos de ingeniería
Bibliografía Básica		
1	Domenico P.A., Schwartz F.W. (1998). <i>Physical and Chemical Hydrogeology</i> . (2 ed.). Editorial John Wiley & Sons.	
2	Fetter Jr. C.W. (2014). <i>Applied Hydrogeology</i> (4 ed.). Editorial Pearson New International.	
3	Zekai S. (1995). <i>Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers</i> . Editorial Lewis Publishers.	
Bibliografía Complementaria		
1	Appelo C.A.J. & Postma D. (2005). <i>Geochemistry, Groundwater and Pollution</i> . (2 ed.). Editorial AA Balkema Publishers, Leiden.	
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales (X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito (X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula (X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos ()
Seminarios	()	Participación en clase (X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia ()
Trabajo de Investigación	()	Seminario ()
Prácticas de taller o laboratorio *	(x)	Otras ()
Prácticas de campo *	()	
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)	
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos		
Perfil profesiográfico		
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología.		
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.		
Especialidad: Hidrogeología.		
Conocimientos específicos; Hidrogeología, hidrogeoquímica, modelación de flujo y nociones de sistemas geográficos de información.		
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: MODELADO NUMÉRICO DE FLUJO Y DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Clave:	Semestre: 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 8
Carácter: Obligatorio	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica-práctica	Teoría: 2.0	Práctica: 2.0	4.0
			64.0
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		

Seriación: Sin Seriación () Obligatoria (X) Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Ninguna

Actividad académica antecedente: Geoestadística Aplicada al Agua Subterránea

Objetivo general: El alumno conocerá y aplicará la metodología para construir modelos numéricos de sistemas de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes con el uso de herramientas computacionales, a partir de modelos conceptuales.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	3.0	2.0
2	Generalidades del modelado de flujo de agua subterránea y transporte de solutos	3.0	0.0
3	Elaboración del modelo conceptual hidrogeológico – hidrogeoquímico	3.0	0.0
4	Fundamentos matemáticos de flujo y transporte y selección de código e interfaz gráfica	4.0	0.0
5	Metodología para diseñar un modelo numérico de flujo y transporte de contaminantes	8.0	15.0
6	Metodos de inversión y calibración de modelos numéricos	5.0	10.0
7	Construcción y predicción de escenarios para el manejo de agua subterránea	4.0	3.0
8	Preparación del reporte, manejo de archivos y revisión del modelo de flujo y transporte	2.0	2.0
Total de horas:		32.0	32.0
Suma total de horas:		64.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
	1.2 Principios de programación con Python como herramienta para modelar: teoría y práctica
2	Generalidades del modelado de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes
	2.1 Importancia del modelado en hidrogeología e hidrogeoquímica
	2.2 Definición de modelo
	2.3 Propósito de la modelación
	2.4 Limitaciones de los modelos
	2.5 Tipos de modelos
3	Elaboración del modelo conceptual hidrogeológico – hidrogeoquímico
	3.1 Modelo conceptual: Definición y características generales
	3.2 Enfoques: Acuífero y sistemas de flujo del agua subterránea
	3.3 Componentes de un modelo conceptual
	3.4 Incertidumbre en el modelo conceptual
4	Fundamentos matemáticos de flujo y transporte y selección de código e interfaz gráfica
	4.1 Traslado de un sistema físico de aguas subterráneas a un sistema matemático
	4.2 Generalidades sobre el transporte y procesos de migración de contaminantes en acuíferos
	4.3 Ecuaciones que gobiernan el flujo de las aguas subterráneas y el transporte de solutos
	4.4 Condiciones de frontera
	4.5 Modelos analíticos
	4.6 Modelos numéricos
	4.7 Selección del código e interfaz computacional
5	Metodología para diseñar un modelo numérico de flujo y transporte de contaminantes
	5.1 Dimensiones del modelo y selección de fronteras
	5.2 Discretización espacial y asignación de parámetros
	5.3 Fuentes y sumideros
	5.4 Simulaciones de flujo y transporte en estados estacionario y transitorio
	5.5 Desarrollo computacional de un modelo numérico de flujo y de transporte usando MODFLOW y otras herramientas

6	Metodos de inversión y calibración de modelos numéricos		
	6.1	Objetivos de la calibración	
	6.2	Tipos de ajustes de calibración	
	6.3	Introducción a los métodos de inversión	
	6.4	Calibración semiautomática usando PEST	
	6.5	Limitaciones en los historiales de ajuste para la calibración	
	6.6	Errores comunes de la calibración	
	6.7	Análisis de sensibilidad	
	6.8	Filtros de Kalman ensamblado aplicados a la estimación de parámetros	
	6.9	Ejercicios computacionales de calibración de modelos numéricos de flujo y transporte	
7	Construcción y predicción de escenarios para el manejo de agua subterránea		
	7.1	Construcción de escenarios	
	7.2	Modelado de predicciones	
	7.3	Evaluación de resultados	
	7.4	Estudio de casos y análisis de modelos numéricos predictivos en agua subterránea	
8	Preparación del reporte, manejo de archivos y revisión del modelo de flujo y transporte de contaminantes		
	8.1	Preparación del reporte del modelo	
	8.2	Manejo de archivos del modelo	
	8.3	Revisión del modelo	
	8.4	Estudio de casos y análisis de auditorías de modelos numéricos en acuíferos	
Bibliografía Básica			
1	Anderson M.P., Woessner W.W. and Hunt R.J. . (2015). <i>Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport</i> . (2 ed.). Editorial Academic Press.		
2	Doherty J. and Hunt R. J. (2010). <i>Approaches to Highly Parameterized Inversion: A Guide to Using PEST for Groundwater-Model Calibration</i> . Editorial USGS.		
3	Holzbecher E. (2012). <i>Environmental Modeling Using Matlab</i> . (2 ed.). Editorial Springer.		
4	Krešić N. (2007). <i>Hydrogeology and Groundwater Modeling</i> . Editorial CRC Press.		
5	Tiedeman John Wiley & Sons. (2007). <i>Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty</i> . Editorial Hill, M.C., and C.R.		
Bibliografía Complementaria			
1	Hill M.C. and Tiedeman C.R. (2007). <i>Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty</i> . Editorial John Wiley & Sons.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	(x)	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: Hidrogeología, hidrogeoquímica y modelación numérica en zona saturada.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			
Fomentar el uso de herramientas computacionales de uso libre y gratuito			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN EXPLORACIÓN PETROLERA Y CARACTERIZACIÓN DE YACIMIENTOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: SEMINARIO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Clave:	Semestre: 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra / Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 4
---------------	--------------------	---	------------------------

Carácter: Obligatorio	Horas	Horas por semana	Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría: 2.0	Práctica: 0.0	32.0

Modalidad: Seminario **Duración del programa: semestral**

Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Ninguna

Actividad académica antecedente: Ninguna

Objetivo general: El alumno planteará y resolverá el caso de estudio en el que se basará su tesina, incluyendo la realización de la misma.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Planteamiento del proyecto de tesina y otras opciones reglamentadas de titulación	32.0	0.0
Total de horas:		32.0	0.0
Suma total de horas:		32.0	

Bibliografía Básica

1	Dependerá de los temas propuestos por el profesor
---	---

Bibliografía Complementaria

1	Dependerá de los temas propuestos por el profesor
---	---

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(x)	Exámenes parciales	(x)
Exposición audiovisual	(x)	Examen final escrito	(x)
Ejercicios dentro de clase	(x)	Trabajos y tareas fuera del aula	(x)
Ejercicios fuera del aula	(x)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(x)
Lecturas Obligatorias	(x)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(x)		

* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos

Perfil profesiográfico

Formación académica: Profesor o investigador con estudios de posgrado en el campo del Agua Subterránea.

Experiencia profesional: Haber dirigido o participado en proyectos de modelado en el proceso de exploración y explotación de hidrocarburos.

Especialidad: Hidrogeología.

Conocimientos específicos: Contaminación, Modelación de Flujo y Transporte de Solutos e Hidrogeoquímica.

Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.

FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL

PLAN DE ESTUDIOS OPTATIVO

Agua Subterránea



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 6
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	48.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación () Obligatoria () Indicativa (X)			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Hidrología Superficial			

Objetivo general: El alumno aprenderá a cuantificar procesos hidrometeorológicos que controlan la recarga de acuíferos y tendrá elementos técnicos para analizar las interacciones hidráulicas entre el agua superficial y subterránea.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	Análisis de frecuencias de eventos extremos	7.5	0.0
3	Estimación de las curvas intensidad-duración periodo de retorno	7.5	0.0
4	Análisis de gastos máximos anuales	7.5	0.0
5	Relaciones lluvia-escorrentía	7.5	0.0
6	Análisis conjunto de eventos hidrológicos	7.5	0.0
7	Análisis de series de tiempo	8.5	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
2	Análisis de frecuencias de eventos extremos
	2.1 Pruebas de homogeneidad
	2.2 Prueba de independencia de Anderson
	2.3 Distribuciones de probabilidad para máximos
	2.4 Estimación de parámetros
	2.5 Prueba de bondad de ajuste y estimación de eventos de diseño
3	Estimación de las curvas intensidad-duración periodo de retorno
	3.1 Fórmulas empíricas de Bell y Chen
	3.2 Método de correlación múltiple
	3.3 Análisis de frecuencias de lluvias máximas en 24h
	3.4 Análisis de lluvia acumulada de 1 a 10 días consecutivos
4	Análisis de gastos máximos anuales
	4.1 Análisis en el sitio
	4.2 Delimitación de regiones homogéneas
	4.3 Análisis en el sitio más la región
	4.4 Análisis en cuencas no aforadas
5	Relaciones lluvia-escorrentía
	5.1 Métodos semiempíricos
	5.2 Métodos empíricos
	5.3 Tiempo de concentración
	5.4 Hidrograma unitario

6	Análisis conjunto de eventos hidrológicos		
	6.1	Estimación de avenidas de diseño	
	6.2	Análisis en confluencias de ríos	
	6.3	Procesos condicionales lluvia-volumen de escurrimiento-gasto de pico	
7	Análisis de series de tiempo		
	7.1	Características de las series de tiempo	
	7.2	Modelo autorregresivo anual	
	7.3	Modelo autoregresivo periódico	
	7.4	Modelo autoregresivo multivariado	
	7.5	Generación sintética de lluvia y escurrimiento	
	7.6	Volumen potencial infiltrado	
Bibliografía Básica			
1	Escalante Carlos. y Reyes Lilia. (2005). <i>Técnicas estadísticas en hidrología</i> . (2. ed.). Editorial Facultad de Ingeniería. UNAM.		
2	Reyes Lilia. y Escalante Carlos. (2016). <i>Hidrología Básica</i> . Editorial IMTA-UNAM.		
Bibliografía Complementaria			
2	Caro Becerra J.L., Godínez Ramiro L., Lujan Godínez R. (2014). <i>Hidrología superficial para ingenieros</i> . Editorial EAE.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	(X)
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o Doctorado en Hidrología.			
Experiencia profesional: Haber participado al menos cinco años en proyectos de hidrológicos.			
Especialidad: Hidrología.			
Conocimientos específicos: Hidrología.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: DISEÑO Y TERMINACIÓN DE POZOS

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra	No. Créditos: 6
		Campo Disciplinario: Agua Subterránea	
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	48.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso		Duración del programa: semestral	
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno aplicará los fundamentos de hidrogeología para localizar, diseñar y habilitar pozos de bombeo, que tengan el menor impacto en el sistema acuífero.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Equipos y métodos de perforación	6.0	0.0
2	Fluidos y aditivos de perforación	3.0	0.0
3	Etapa exploratoria del pozo	4.0	0.0
4	Diseño de pozos	6.0	0.0
5	Terminación, desarrollo y desinfección de pozos	3.0	0.0
6	Pruebas de aforo	4.0	0.0
7	Equipamiento e instrumentación	4.0	0.0
8	Operación y mantenimiento	4.0	0.0
9	Rehabilitación de pozos y equipo de bombeo	4.0	0.0
10	Control y supervisión de obra	3.0	0.0
11	Especificaciones técnicas para la perforación de pozos	4.0	0.0
12	Costos de la perforación por etapas de trabajo	3.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Equipos y métodos de perforación
	1.1 Métodos con sistema de percusión
	1.2 Métodos con sistema de rotación
2	Fluidos y aditivos de perforación
	2.1 Tipos de fluidos
	2.2 Influencia de los fluidos
	2.3 Propiedades de los fluidos
	2.4 Funciones de los fluidos
	2.5 Aditivos de perforación
3	Etapa exploratoria del pozo
	3.1 Perforación exploratoria
	3.2 Pruebas preliminares de productividad
	3.3 Clasificación de muestras
	3.4 Análisis granulométrico
	3.5 Registros geofísicos de pozos
4	Diseño de pozos
	4.1 Ademe
	4.2 Sección de admisión
	4.3 Filtros
	4.4 Estabilizadores
	4.5 Protección sanitaria

5	Terminación, desarrollo y desinfección de pozos	
	5.1	Terminación
	5.2	Desarrollo
	5.3	Desinfección de pozos
6	Pruebas de aforo	
	6.1	Generalidades
	6.2	Marco teórico
	6.3	Requisitos para realizar las pruebas de aforo
	6.4	Ejecución de las pruebas
	6.5	Consideraciones en las pruebas de aforo
	6.6	Curvas características del pozo
7	Equipamiento e instrumentación	
	7.1	Equipo de bombeo
	7.2	Selección de la bomba
	7.3	Equipo eléctrico
	7.4	Dispositivos hidrométricos
	7.5	Dispositivos para observar el nivel del agua
8	Operación y mantenimiento	
	8.1	Eficiencia hidráulica en los pozos
	8.2	Eficiencia electromecánica
	8.3	Fenómenos que afectan la eficiencia de los pozos
9	Rehabilitación de pozos y equipo de bombeo	
	9.1	Diagnóstico del pozo
	9.2	Tratamiento de pozos
	9.3	Encamisado de pozos
	9.4	Reparación del equipo electromecánico
10	Control y supervisión de obra	
	10.1	Aspectos generales
	10.2	Conceptos básicos de control
11	Especificaciones técnicas para la perforación de pozos	
	11.1	Aspectos legales para la perforación de pozos
	11.2	Especificaciones técnicas
	11.3	Pérdida de fluidos de circulación
12	Costos de perforación por etapas de trabajo	
	12.1	Costos
	12.2	Características de los costos
	12.3	Costos indirectos de operación
	12.4	Costos indirectos de obra
	12.5	Sobrecosto para suministrar el precio de venta
	12.6	Costos directos
	12.7	Costos de mano de obra
	12.8	Costo unitario de trabajo
	12.9	Costos finales
	12.10	Programación
Bibliografía Básica		
1	Driscoll F. G. (1989). <i>Groundwater and Wells</i> . Editorial Johnson Division.	
2	Kasenow M. (2001). <i>Applied Groun-Water Hidrology and Well Hydraulics</i> . (3 ed.). Editorial Water Resources Publications, LLC.	
3	Sterrett R.J. (2008). <i>Groundwater and Wells. A Comprehensive Guide for the Design, Installation and Maintenance of a Water Well</i> . (3 ed.). Editorial Sterrett, R.J.	
Bibliografía Complementaria		
1	Kumar P. (2014). <i>Groundwater and Well Drilling: A Reference Book on Groundwater and Wells</i> . Editorial CBS Publishers & Distributors.	
2	Metz F. (2013). Guide to Water Wells and Locating Groundwater: top Things you Should know Before Drilling a Well. <i>Paperback</i> - October 19.	

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	()	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	(X)	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o Doctorado en Hidrogeología.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos de aguas subterráneas, docencia e investigación vinculadas al análisis cuantitativo de sistemas acuíferos, hidráulica y perforación de pozos.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: Hidrogeología y perforación de pozos.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos análisis cuantitativos sobre los argumentos descriptivos.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: HIDROGEOFÍSICA

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra	No. Créditos: 6
		Campo Disciplinario: Agua Subterránea	
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	3.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		

Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Ninguna

Actividad académica antecedente: Ninguna

Objetivo general: El alumno conocerá y aplicará las principales técnicas geofísicas utilizadas en la exploración hidrogeológica, sus principios físicos, modalidades; los elementos que deben considerarse para la adquisición de datos y su procesamiento, así como la interpretación de los resultados.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	Conceptos básicos	3.0	0.0
3	Propiedades físicas del medio hidrogeológico	3.0	0.0
4	Exploración hidrogeofísica	28.0	0.0
5	Evaluación hidrogeofísica	12.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
2	Conceptos básicos
	2.1 Definición
	2.2 Objetivos en la exploración hidrogeofísica y nivel de caracterización (heterogeneidad, escala y normatividad vigente)
	2.3 Medio hidrogeológico desde el punto de vista hidrogeofísico
	2.4 Proceso exploratorio aplicado en la hidrogeofísica
	2.5 Ventajas de la exploración hidrogeofísica
	2.6 Consideraciones que deben tomarse en cuenta para el uso de la hidrogeofísica
3	Propiedades físicas del medio hidrogeológico
	3.1 Medio granular y fracturado y su relación con las propiedades eléctricas, electromagnéticas, elásticas, radiactivas y magnéticas
	3.2 Porosidad y permeabilidad y su relación con las respuestas a los diferentes métodos geofísicos
4	Exploración hidrogeofísica
	4.1 Métodos geofísicos (potenciales, electromagnéticos, aplicables en cuerpos dieléctricos, sísmicos y registros de pozos)
	4.2 Herramientas hidrogeofísicas (equipos y capacidades)
	4.3 Adquisición de datos
	4.4 Procesamiento de datos (de acuerdo al método empleado e inversión de datos)

5	Evaluación hidrogeofísica		
	5.1	Mapeo hidrogeológico y características del subsuelo	
	5.2	Variables que influyen en el flujo y el transporte del agua	
	5.3	Monitoreo de perturbaciones naturales o inducidas	
Bibliografía Básica			
1	Burger H. R. (1992). <i>Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface</i> . Editorial Prentice Hall.		
2	Fitts Ch. R., (2012). <i>Groundwater Science</i> . Editorial Academic Press.		
3	Hubbard S. (2008). <i>The Evolution of Hydrogeophysics</i> . Editorial The leading Edge.		
4	Hubbard S., Berkeley L. (2002). <i>Study Institute Assesses the State of Hydrogeophysics</i> . Editorial Eos.		
5	Keys W .S. (2005). <i>Borehole Geophysics Applied to Ground-water Investigations</i> . Editorial U. S. Geological Survey, Techiques of water-Resources Investigations.		
6	Telford W .M., Gelpart L.P. and Sheriff R.E. (1998). <i>Applied Geophysics</i> . Editorial Cambridge University Press.		
Bibliografía Complementaria			
1	Binley A., Hubbard S. S., Huisman J. A., Revil A., Robinson D., Singha K. and Slater L. D., (2015). <i>The Emergence of Hydrogeophysics for Improved Understanding of Subsurface Processes Over Multiple Scales, Water Resources Research</i> . Editorial Wiley.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	(X)
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Profesor o Investigador preferentemente con posgrado en el campo de la Geofísica o Hidrogeología.			
Experiencia profesional: Haber participado al menos cinco años en proyectos de hidrogeofísica (métodos eléctricos o electromagnéticos).			
Especialidad: Hidrogeofísica.			
Conocimientos específicos: Hidrogeología, geofísica aplicada a la hidrogeología y nociones de sistemas geográficos de información.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra	No. Créditos: 6
		Campo Disciplinario: Agua Subterránea	
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	48.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno conocerá y aplicará las principales técnicas analíticas, estadísticas y de campo para caracterizar la calidad del agua en acuíferos y unidades hidrogeológicas.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	Reacciones ácido-base, precipitación y adsorción	10.0	0.0
3	Reacciones óxido-reducción	9.0	0.0
4	Colecta y análisis de muestras y normatividad	6.0	0.0
5	Principios de isotopía	6.0	0.0
6	Química orgánica y microbiología en agua subterránea	6.0	0.0
7	Principios de modelación hidrogeoquímica	9.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
2	Reacciones ácido-base, precipitación y adsorción
	2.1 Reacciones ácido-base, química de los carbonatos, alcalinidad
	2.2 Precipitación
	2.3 Adsorción
3	Reacciones óxido-reducción
	3.1 Ecuación de Nerst
	3.2 Diagramas de Pourbaix
4	Colecta y análisis de muestras y normatividad
	4.1 Colecta de muestras de agua subterránea
	4.2 Análisis de muestras de agua subterránea y presentación gráfica de resultados
	4.3 Normas oficiales mexicanas, criterios WHO
5	Principios de isotopía
	5.1 Isótopos ambientales
	5.2 Isótopos radiactivos
6	Química orgánica y microbiología en agua subterránea
	6.1 Compuestos orgánicos naturales y antropogénicos
	6.2 Microbiología
7	Principios de modelación hidrogeoquímica
	7.1 Modelos históricos
	7.2 Modelos modernos y emergentes

Bibliografía Básica			
1	Appelo C.A.J. & Postma D. (2005). <i>Geochemistry, Groundwater and Pollution</i> . (2 ed.). Editorial AA Balkema Publishers, Leiden.		
2	Clark I. (2015). <i>Groundwater Geochemistry and Isotopes</i> . Editorial CRC Press. Taylor & Francis Group.		
3	Fagundo C. J.R. (2012). <i>Hidrogeoquímica: Química del agua subterránea</i> . Editorial Académica Española.		
4	Hem J.D. (1989). <i>Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water</i> . (3 ed.). Editorial USGS Water-Supply .		
5	Hoefs J. (2015). <i>Stable Isotope Geochemistry</i> . (7 ed.). Editorial Springer .		
6	Merkel B.J., Planner-Friedrich B & Nordstrom DK. (2005). <i>Groundwater Geochemistry . A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems</i> . Editorial Springer.		
Bibliografía Complementaria			
1	Snoeyink VL & Jenkins D. (2008). <i>Química del agua</i> . Editorial Limusa.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	(X)	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Profesor o Investigador preferentemente con posgrado en el campo de la Hidrogeología.			
Experiencia profesional: Haber participado al menos cinco años en proyectos de hidrogeoquímica.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: Geoquímica del agua, normatividad en materia de calidad del agua.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 6
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	48.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación () Obligatoria () Indicativa (X)			
Actividad académica subsecuente: Análisis Hidrológico			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno conocerá los componentes del ciclo hidrológico y su relación con el agua subterránea, así como planteará las ecuaciones de balance hidrometeorológico.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	2.0	0.0
2	Nociones de meteorología	7.5	0.0
3	La cuenca	7.5	0.0
4	Precipitación	7.5	0.0
5	Escurrimiento	7.5	0.0
6	Evapotranspiración	7.5	0.0
7	Infiltración	8.5	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
2	Nociones de meteorología
	2.1 La atmósfera
	2.2 Clima
	2.3 Variables meteorológicas (presión atmosférica, presión de vapor, humedad, punto de rocío)
	2.4 Viento
	2.5 Frentes (cálido, frío, ocluido, polar)
	2.6 Cambio climático
3	La cuenca
	3.1 Definición y clasificación
	3.2 Características fisiográficas (parteaguas, área drenada, elevación y pendiente de la cuenca y del cauce, red de drenaje)
	3.3 Componentes del ciclo hidrológico
4	Precipitación
	4.1 Mecanismos de generación
	4.2 Instrumentos de medición
	4.3 Registro pluviográfico y curva masa
	4.4 Deducción de datos faltantes
	4.5 Curva masa media ajustada
5	Escurrimiento
	5.1 Definición y tipos
	5.2 Medición del escurrimiento (métodos directos e indirectos)
	5.3 Análisis de hidrogramas

6	Evapotranspiración		
	6.1	Definición	
	6.2	Instrumentos de medición	
	6.3	Métodos de estimación	
7	Infiltración		
	7.1	Definición	
	7.2	Caracterización del suelo	
	7.3	Capacidad y velocidad de infiltración	
	7.4	Instrumentos de medición	
	7.5	Métodos de estimación	
Bibliografía Básica			
1	Escalante Carlos. y Reyes Lilia. (2005). <i>Técnicas estadísticas en hidrología</i> . (2 ed.). Editorial Facultad de Ingeniería. UNAM.		
2	Linsley Kohler and Paulus. (1990). <i>Hidrología para ingenieros</i> . (2 ed.). Editorial McGraw-Hill Latinoamericana.		
3	Maidment David R. (1993). <i>Handbook of Hydrology</i> . Editorial McGraw-Hill.		
4	Osman Akan A., Houghtalen Robert J. (2003). <i>Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Applications and Computer Modeling</i> . Josseybass. Editorial Engineering.		
5	Reyes Lilia. y Escalante Carlos. (2016). <i>Hidrología básica</i> . Editorial IMTA-UNAM.		
6	Visay P. Singh. (1992). <i>Elementary Hydrology</i> . Editorial Prentice hall.		
7	Wadsworth Harrison M. (1990). <i>Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists</i> . Editorial McGraw-Hill.		
Bibliografía Complementaria			
1	Monsalve S. G. (2013). <i>Hidrología en la ingeniería</i> . Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	(X)
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o Doctorado en Hidrología.			
Experiencia profesional: Haber participado al menos cinco años en proyectos de hidrológicos.			
Especialidad: Hidrología.			
Conocimientos específicos: Hidrología.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: MANEJO Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 6
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	Horas por semana
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno contará con los principios teóricos y las herramientas para la planificación y el manejo de los recursos hídricos subterráneos.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	1.0	0.0
2	Gestión de los recursos hídricos subterráneos	6.0	0.0
3	Caracterización del agua subterránea para su gestión	13.0	0.0
4	Monitoreo del agua subterránea	6.0	0.0
5	Aguas subterráneas y cambio climático	6.0	0.0
6	Legislación y regulación del agua subterránea	6.0	0.0
7	Instrumentos económicos y financieros en la gestión del agua subterránea	5.0	0.0
8	Documentación y comunicación en la gestión del agua subterránea	5.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Objetivo del curso
	1.2 Antecedentes necesarios
	1.3 Programa de la asignatura
	1.4 Metodología de trabajo y evaluación
2	Gestión de los recursos hídricos subterráneos
	2.1 Marco general
	2.2 Conceptos y definiciones
	2.3 Recursos hídricos subterráneos
	2.4 Importancia de la gestión del agua subterránea
	2.5 El agua subterránea como bien social y económico
3	Caracterización del agua subterránea para su gestión
	3.1 Ocurrencia del agua subterránea
	3.2 Comportamiento del agua subterránea
	3.3 Problemas naturales y antropogénicos que afectan la cantidad y calidad del agua subterránea
	3.4 Metodologías y técnicas para la evaluación de riesgos y restauración del agua subterránea
	3.5 Herramientas e información necesaria para la gestión y el manejo del agua subterránea
4	Monitoreo del agua subterránea
	4.1 Beneficios del monitoreo del agua subterránea
	4.2 Objetivos del monitoreo del agua subterránea
	4.3 Diseño de una red de monitoreo del agua subterránea
5	Agua subterránea y cambio climático
	5.1 Cambio climático y variabilidad hidrológica
	5.2 Impactos del cambio climático en el agua subterránea
	5.3 Consecuencias del impacto climático a los usuarios del agua subterránea
	5.4 Adaptación al cambio climático

6	Legislación y regulación del agua subterránea		
	6.1	Conceptos legales básicos	
	6.2	Componentes de la legislación	
	6.3	Ley de aguas nacionales y su reglamento	
	6.4	Normatividad del agua subterránea	
7	Instrumentos económicos y financieros en la gestión del agua subterránea		
	7.1	Instrumentos económicos y financieros	
	7.2	Aplicación de los instrumentos económicos y financieros	
	7.3	Instrumentos económicos y financieros en la gestión del agua subterránea	
8	Documentación y comunicación en la gestión del agua subterránea		
	8.1	Identificación de las partes interesadas	
	8.2	Funciones de las partes interesadas en la gestión del agua subterránea	
	8.3	Mecanismos institucionales para la participación y movilización de las partes interesadas	
Bibliografía Básica			
1	Fetter C.W . (2001). <i>Applied Hydrogeology</i> . Editorial Prentice-Hall, Inc.		
2	Global Water Partnership. (2013). <i>Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal</i> . Editorial Global Water Partnership.		
3	GW-MATE. (2006). <i>Non-Renewable Groundwater Resources</i> . Editorial GW-MATE.		
4	Instituto Geológico y Minero de España. (2008). Investigación y gestión de los recursos del subsuelo. Serie: <i>Hidrogeología y Aguas Subterráneas</i> No. 27.		
5	IMTA. (2014). Estado del arte de la remediación de acuíferos contaminados. Coordinación de Hidrología. <i>Subcoordinación de Hidrología Subterránea</i> . Editorial IMTA.		
6	Zekai Sen. (1995). <i>Applied Hydrogeology</i> . Editorial Lewis Publishers.		
7	(2006). <i>Los Ecosistemas Dependientes del Agua Subterránea, procedimientos de caracterización y medidas de conservación</i> . Editorial Grupo Base del GW-MATE .		
Bibliografía Complementaria			
1	Domenico P.A. and F.W . Schwartz. (1998). <i>Physical and chemical hydrogeology</i> . (2 ed.). Editorial John Wiley & Sons.		
2	Cap-Net, AGW-net, GW_MATE. (2010). <i>Gestión de aguas subterráneas en la GIRH</i> . Manual de capacitación.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	()	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	(X)	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: Hidrología subterránea, hidrología aplicada. Remediación de acuíferos, modelación numérica de flujo y transporte de solutos en medios saturados y modelación numérica de transporte de solutos.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: REMEDIACIÓN DE ACUÍFEROS

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 6
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	48.0
	3.0	0.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno entenderá la metodología general para caracterizar un sitio contaminado. Conocer, aplicar y diseñar estrategias para remediar suelos y acuíferos contaminados y los métodos para su protección.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	3.0	0.0
2	Caracterización de sitios contaminados	12.0	0.0
3	Análisis de riesgo a la salud y al medio ambiente	6.0	0.0
4	Remediación de suelos y zona vadosa	6.0	0.0
5	Remediación de acuíferos	12.0	0.0
6	Protección de acuíferos	9.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas
1	Introducción
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
	1.2 Nexos inherentes "aguas subterráneas - medio ambiente"
	1.3 Fuentes de contaminación en suelos y acuíferos
	1.4 Propiedades de sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas en suelos y acuíferos
	1.5 Guías internacionales de remediación y legislación nacional vigente
2	Caracterización de sitios contaminados
	2.1 Información preliminar del sitio contaminado
	2.2 Reconocimiento local usando vehículos aéreos no tripulados
	2.3 Prospección geofísica terrestre y satelital aplicada al estudio de sitios contaminados
	2.4 Monitoreo de gas en la zona vadosa
	2.5 Estrategias de muestreo de suelo y tipos de perforación ambiental
	2.6 Perforación, diseño e instalación de pozos de monitoreo de agua subterránea
	2.7 Multi-piezómetros, pozos multi-canal e instrumentación asociada
	2.8 Estrategias y tipos de muestreo en agua subterránea
	2.9 Indicadores geoquímicos de contaminación
	2.10 Estimación volumétrica de suelo y agua subterránea contaminada

3	Análisis de riesgo a la salud y al medio ambiente	
	3.1	Conceptos básicos
	3.2	Formulación del problema
	3.3	Caracterización del riesgo inicial
	3.4	Evaluación de la exposición
	3.5	Evaluación de riesgo a la salud humana
	3.6	Evaluación del riesgo ecológico
	3.7	Niveles de remediación basados en riesgo
4	Remediación de suelos y zona vadosa	
	4.1	Técnicas biológicas de remediación
	4.2	Lavado de suelos
	4.3	Extracción de vapores en la zona no saturada
	4.4	Técnicas asistidas con surfactantes naturales y sintéticos
	4.5	Técnicas emergentes
5	Remediación de acuíferos	
	5.1	Contención hidráulica basada en bombeo
	5.2	Inyección de aire en la zona saturada
	5.3	Pantallas reactivas permeables
	5.4	Atenuación natural monitoreada
	5.5	Recuperación activa y pasiva de plumas ligeras y densas de hidrocarburos
	5.6	Técnicas emergentes
6	Protección de acuíferos	
	6.1	Cartografía de la vulnerabilidad acuífera y riesgo hidrogeológico
	6.2	Áreas y perímetros de protección en pozos estratégicos
	6.3	Diseño de planes de monitoreo a corto y largo plazo
	6.4	Emplazamiento de rellenos sanitarios y disposición geológica profunda
	6.5	Planes integrados de protección de acuíferos

Bibliografía Básica

1	Charbeneau R.J. Bedient P.B., Loher R.C. (1992). <i>Groundwater remediation</i> . Volume 8. Water Quality Management Library. Editorial Technomic Publishing Company.
2	Fetter C.W., Boving T., Kremer D. (2018). <i>Contaminant Hydrogeology</i> . (3 Ed.). Editorial Waveland Press.
3	Iturbe R.A. (2014). <i>Suelos y acuíferos contaminados</i> . Editorial Trillas.
4	Jackson R.E., Lesage S. (1992). <i>Groundwater Contamination and Analysis at Hazardous Waste Sites</i> . Editorial Marcel Dekker.
5	Kuo J. (2014). <i>Practical Design Calculations for Groundwater and Soil Remediation</i> . Editorial CRC Press.
6	Torres L.G., Bandala E.R. (2009). <i>Remediation of Soils and Aquifers</i> . Editorial Nova Science Publishers.

Bibliografía Complementaria

1	Suthersan S.S., Horst J., Schnobrich M., Welty N., McDonough J. (2017). <i>Remediation Engineering. Design Concepts</i> . Editorial CRC Press.
----------	--

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	()		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			

Perfil profesiográfico
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología.
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.
Especialidad: Hidrogeología.
Conocimientos específicos: Hidrogeología, Modelación numérica de flujo en medio saturado y transporte de solutos y conocimientos básicos de sistemas geográficos de información.
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: TÉCNICAS HIDROGEOLÓGICAS DE CAMPO

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 8
Carácter: Optativo	Horas		Horas por semestre:
Tipo: Teórica-práctica	Teoría:	Práctica:	Horas por semana 4.0
	2.0	2.0	
Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral		
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()			
Actividad académica subsecuente: Ninguna			
Actividad académica antecedente: Ninguna			
Objetivo general: El alumno integrará los conceptos teóricos y prácticos para adquirir información de campo en proyectos de agua subterránea.			

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	1.0	0.0
2	Censo de captaciones de agua subterránea	4.0	0.0
3	Mediciones piezométricas	6.0	0.0
4	Hidrometría subterránea	3.0	0.0
5	Hidráulica de pozos a escala de campo	5.0	0.0
6	Muestreo en acuíferos	3.0	0.0
7	Elaboración de informe de trabajo de campo	3.0	0.0
8	Campaña hidrogeológica de campo	7.0	32.0
Total de horas:		32.0	32.0
Suma total de horas:		64.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas	
1	Introducción	
	1.1	Marco conceptual de la asignatura
	1.2	Objetivos del trabajo hidrogeológico de campo
	1.3	Importancia del marco geológico
	1.4	Alcances del trabajo hidrogeológico de campo
2	Censo de captaciones de agua subterránea	
	2.1	Fuentes de información
	2.2	Registro de campo y manejo de bases de datos
	2.3	Censo en pozos profundos y norias
	2.4	Censo de manantiales y ríos
	2.6	Censo de otras captaciones
	2.7	Procesamiento y presentación de datos a escala de campo
3	Mediciones piezométricas	
	3.1	Profundidad del nivel estático
	3.2	Elevación del nivel estático
	3.3	Representaciones gráficas
	3.4	Monitoreo en piezómetros, hidrógrafos y series de tiempo
	3.5	Herramientas de campo (sondas eléctricas y transductores electrónicos)
	3.6	Procesamiento de datos a escala de campo

4	Hidrometría subterránea	
	4.1	Hidrometría subterránea: generalidades, limitaciones e incertidumbre
	4.2	Metodologías de aforo en corrientes superficiales
	4.3	Metodologías de aforo en captaciones subterráneas
	4.4	Estimación de volúmenes de extracción anualizados y normalizados
5	Hidráulica de pozos a escala de campo	
	5.1	Supervisión de perforación, desarrollo y aforo de pozos
	5.2	Protocolo en la ejecución de ensayos de bombeo en campo
	5.3	Ejecución de pruebas de bombeo de corta y larga duración
	5.4	Equipo de medición manual y automatizado
	5.5	Procesamiento de datos a escala de campo
6	Muestreo en acuíferos	
	6.1	Objetivo del muestreo
	6.2	Protocolo en el muestreo de agua subterránea
	6.3	Cadena de custodia y controles de calidad en el muestreo
	6.4	Mediciones <i>insitu</i> e indicadores geoquímicos de contaminación
	6.5	Tipo de muestreo
	6.6	Normas nacionales e internacionales de calidad de agua subterránea
	6.7	Procesamiento de datos a escala de campo
7	Elaboración de informe de trabajo de campo	
	7.1	Objetivos y alcances
	7.2	Metodologías
	7.3	Presentación de resultados
	7.4	Conclusiones y recomendaciones
8	Campaña hidrogeológica de campo	
	8.1	Trabajo hidrogeológico de campo en un acuífero por definir

Bibliografía Básica

1	Assaad F., LaMoreaux P. E., Hughes T. H. (2004). <i>Field Methods for Geologists and Hydrogeologists</i> . Editorial Springer.
2	Brassington R. (2017). <i>Field Hydrogeology: The Geological Field Guide Series</i> . (4 ed.). Editorial Wiley-Blackwell Pub.
3	Gurmu M.G. (2015). <i>Hydrogeology: Field-Data Collecting Form: for Water Wells Drilling and Pumping Tests</i> . Editorial Createspace Independent Pub.
4	Weight W. D. (2008). <i>Hydrogeology Field Manual</i> . (2 ed.). Editorial McGraw-Hill.
5	Weight W. D., Sonderegger J. L. (2001). <i>Manual of Applied Field Hydrogeology</i> . Editorial McGraw-Hill.

Bibliografía Complementaria

1	Moore J. E. (2011). <i>Field Hydrogeology: A Guide for Site Investigations and Report Preparation</i> . (2 ed.). Editorial CRC Press.
----------	---

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	()	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	(X)
Prácticas de campo * obligatoria	(X)	Indispensable la realización de una campaña de campo de aproximadamente 4 días, aunque la duración final dependerá de los objetivos, complejidad y localización del acuífero a estudiar	
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			

Perfil profesiográfico

Formación académica: Licenciatura, Maestría o Doctorado en Hidrogeología, con amplios conocimientos en la práctica profesional

Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en trabajos y supervisión de campo.

Especialidad: Hidrogeología.

Conocimientos específicos: Hidrología subterránea, hidrogeoquímica, modelación de flujo y nociones de sistemas geográficos de

Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: TRANSPORTE DE SOLUTOS EN MEDIOS SATURADOS

Clave:	Semestre: 1 o 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Agua Subterránea	No. Créditos: 6
---------------	------------------------	---	------------------------

Carácter: Optativo	Horas	Horas por semana	Horas por semestre:
---------------------------	--------------	-------------------------	----------------------------

Tipo: Teórica	Teoría:	Práctica:	3.0	48.0
	3.0	0.0		

Modalidad: Curso	Duración del programa: semestral
-------------------------	---

Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()

Actividad académica subsecuente: Ninguna

Actividad académica antecedente: Ninguna

Objetivo general: El alumno entenderá los procesos de transferencia de masa que rigen la migración de contaminantes en medios porosos saturados y los modelos analíticos que permiten su estudio y predicción.

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	4.0	0.0
2	Procesos de transferencia de masa en medios saturados	14.0	0.0
3	Transformación y atenuación de solutos	10.0	0.0
4	Flujo multifásico	8.0	0.0
5	Pruebas de trazadores en agua subterránea	12.0	0.0
Total de horas:		48.0	0.0
Suma total de horas:		48.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas	
1	Introducción	
	1.1	Marco conceptual de la asignatura
	1.2	Fuentes de contaminación en acuíferos
	1.3	Propiedades de sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas
	1.4	Estándares internacionales y legislación ambiental vigente
2	Procesos de transferencia de masa en medios saturados	
	2.1	Advección y velocidad advectiva
	2.2	Dispersión mecánica
	2.3	Difusión molecular y transporte fickiano
	2.4	Dispersión hidrodinámica y dispersividad
	2.5	Derivación de la ecuación de advección-dispersión (EAD) con coeficientes constantes
	2.6	Difusión vs. dispersión y número de Peclet
	2.7	Soluciones analíticas de la EAD
	2.8	Introducción al transporte estocástico en medios altamente heterogéneos
3	Transformación y atenuación de solutos	
	3.1	Procesos de sorción
	3.2	Reacciones de equilibrio, retardo y modelos de sorción
	3.3	Decaimiento radiactivo
	3.4	Biodegradación
	3.5	Transporte coloidal

4	Flujo multifásico		
	4.1	Generalidades y conceptos básicos	
	4.2	Transporte y caracterización de plumas ligeras no miscibles (LNAPLs)	
	4.3	Transporte y caracterización de plumas densas no miscibles (DNAPLs)	
5	Pruebas de trazadores en agua subterránea		
	5.1	Principios y generalidades	
	5.2	Pruebas en flujo natural	
	5.3	Pruebas en flujo convergente	
	5.4	Pruebas en pozo único (dilución puntual)	
	5.5	Diseño de pruebas de trazadores en campo	
Bibliografía Básica			
1	Fetter CW, Boving T, Kreamer D. (2018). <i>Contaminant Hydrogeology</i> . (3 Ed.). Editorial Waveland Press.		
2	Hui-Hai L. (2017). <i>Fluid Flow in the Subsurface: History, Generalization and Applications of Physical Laws</i> (Theory and Applications of Transport in Porous Media). Editorial Springer.		
Bibliografía Complementaria			
1	Anderson M.P., Woessner W.W. and Hunt R.J. (2015). <i>Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport</i> . (2 ed.). Editorial Academic Press.		
Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	()	Exposición de seminarios por los alumnos	()
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Trabajo de Investigación	(X)	Seminario	()
Prácticas de taller o laboratorio *	()	Otras	()
Prácticas de campo *	()		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología/Hidrología Subterránea.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: geología física, sistemas geográficos de información, hidrología subterránea.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			