

MODELACION DE UNA SITUACION DE INFILTRACION AGUA EN EL SUELO ESPECÍFICO POR ESTUDIANTES DE INGENIERIA



Adriana Atenea de la Cruz Ramos, Hipólito Hernández Pérez,
Miguel Solís Esquinca
ateneadr@hotmail.com, polito_hernandez@hotmail.com, solise@unach.mx
Universidad Autónoma de Chiapas
Experiencia Didáctica
Superior

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la puesta en escena en infiltración de agua en un suelo específico; dicha práctica se realizó en el marco de la Resignificación de la Matemática en el ámbito de la Ingeniería Civil, específicamente en el área de Mecánica de Suelos e Hidrología. Se partió del problema de infiltración de agua en un suelo específico, desde la práctica social de predicción. Para ello se elaboró una situación didáctica apoyada en las diferentes etapas de la Ingeniería Didáctica, partiendo de la revisión y análisis de las asignaturas de matemáticas y física de los planes de estudios de la licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

Palabras clave: *Socioepistemología, Ingeniería Didáctica, predicción, modelación.*

1. PROBLEMÁTICA

En esta investigación se abordó el problema de infiltración de agua en un suelo específico, desde la práctica social de predicción a través del diseño de situaciones didácticas por medio de sus diferentes etapas de la Ingeniería Didáctica. Por tanto, se parte de la epistemología inicial del binomio de Newton y la serie de Taylor como marco de referencia para el diseño de la situación donde la práctica de predicción es incorporada intencionalmente, a la vez se reportan las argumentaciones de los alumnos así como los resultados obtenidos de la puesta en escena con la finalidad de resignificar la serie de Taylor en el cálculo y en las ecuaciones diferenciales.

Se realizó una revisión de los programas de estudio de cálculo, física y de ingeniería de la carrera de Ingeniería Civil que actualmente se imparte en la universidad, en la asignatura de cálculo la serie de Taylor se observa que es estudiada como un teorema y utilizada únicamente como herramienta en las asignaturas de las aplicaciones de Ingeniería Civil y con poca relevancia sin que sea objeto de análisis más profundo (Hernández, 2006). Analizando el objetivo del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil, se encuentra que la matemática es para: resolver, modelar, identificar, predecir los problemas y fenómenos que se presentan en el entorno social, mismos que dan una idea de predicción de los fenómenos físicos, pero en los contenidos de cálculo, ecuaciones diferenciales, física y materias aplicada de ingeniería no está integrada en forma explícita la noción de predicción (Stewart, 2008; Zill, 2007; Gardner & Widstoe, 1921; Horton, 1940).

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con la naturaleza Socioepistemológica que caracteriza a la Matemática Educativa, es posible el estudio de las herramientas, del fenómeno de producción y de difusión del conocimiento. Permite desarrollar estrategias de investigación sobre los medios que posibilitan o favorecen la construcción del conocimiento. En principio la epistemología de concepto permite

explicar las dificultades en la adquisición de conceptos, pero a nivel utilitario; en las diversas temáticas, del conocimiento matemático. En el siguiente esquema como se muestra en la figura 2.1, propuesto por Hernández, (2006) se logra visualizar las relaciones de las dimensiones que conforman una aproximación Socioepistemológica de Matemática Educativa: la dimensión epistemológica, dimensión cognitiva, dimensión didáctica y la dimensión social.

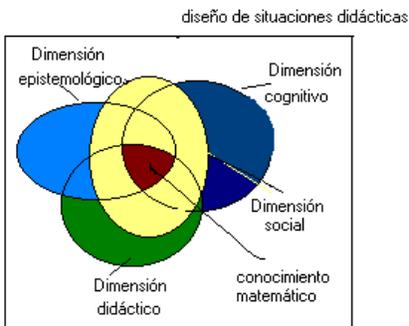


Figura 1. Relación entre las componentes de la aproximación Socioepistemológica.

Cada una de ellas tiene su propia teoría de acuerdo al marco teórico pero manifiestan características comunes entre ellos, ya que, al interactuar en los procesos didácticos partiendo de la actividad humana (prácticas sociales) que realizan coincidentemente profesor-alumno en el aula y fuera de ella. No solo los aspectos cognitivos están en juego la construcción del objeto matemático sino en la práctica social que conduce a la apropiación del conocimiento (Buendía y Cordero 2002), citado por Hernández, 2006. Donde el propósito de la Matemática Educativa es ponderar la componente social sistemáticamente con otras dimensiones: epistemológica, cognitiva, didáctica y social del conocimiento matemático.

La hipótesis que se plantea en *las prácticas sociales como generadoras del conocimiento matemático*, “una epistemología basada en prácticas sociales favorece un estudio de la construcción social de la matemática a través de la reconstrucción de significados asociado al saber matemático” (Arrieta, et. al, 2003). Favoreciendo su carácter funcional logrando reconocer las prácticas sociales como generadores de conocimiento de tal forma que se diseñen situaciones que hagan evidente herramientas y argumentos en los contextos interactivos del salón de clases. La trascendencia de este trabajo es destacar la importancia de fortalecer la Matemática Educativa muy a pesar de existir diferentes líneas de investigación en ella misma.

Es así que, debido a la incorporación gradual de la matemática en la sociedad, proporciona una visión científica del mundo, de aquí surge la necesidad de realizar modificaciones educativas, específicamente de las matemáticas, basándose en diseños mejor adaptados a las prácticas sociales. Para la realización del presente trabajo se analizaron previamente las asignaturas de matemáticas y física de los planes de estudios de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la UNACH, así como sus objetivos. Se revisa el trabajo que han aportado grupos de investigadores en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, relacionado con la presente investigación acerca del Binomio de Newton y la Serie de Taylor. De aquí surge el cuestionamiento y de los objetivos de la investigación delimitado por medio de la Socioepistemología. Por tanto, es indiscutible que la formación del ingeniero civil apunta hacia el desarrollo de nuevas formas de aprendizaje, con una visión inter y transdisciplinaria que les permita abordar la problemática de su disciplina de forma integral; al articular y contextualizar los problemas sociales inherentes a su profesión. De aquí que, es fundamental establecer programas que fomenten la capacidad

intelectual de los estudiantes, mejorando su contenido temático permitiendo así la promoción de actividades interdisciplinarias y multidisciplinarias, aplicando métodos pedagógicos para que el proceso enseñanza aprendizaje sea más eficaz. La formación del ingeniero civil debe “ser ético”, con capacidad para generar información técnica relacionada con la ingeniería; que le dé valor agregado a la toma de decisiones; con actitud emprendedora, visionaria y generadora de cambios en el ámbito socio-laboral; con sentido crítico, creativo, analítico propósito, comprometido y competitivo, además de una actitud de servicio al cliente y a la comunidad” (Plan de estudios UNACH, 2007). La carrera de Ingeniería Civil se encuentra vinculada con la aplicación, diseño, predicción, diagnóstico de fenómenos naturales, que competen en su gran mayoría a la Ingeniería Civil y su entorno social para su solución. A lo largo del estudio de la Licenciatura de Ingeniería Civil en el objetivo de las asignaturas se encuentra el estudio de variación de temperaturas, fenómenos de precipitación de agua, movimientos de suelos y estructuras, donde tiene que ver su matematización para su análisis, diagnóstico y su probable predicción y solución.

Así también, se revisó la distribución y organización de las asignaturas que integran el estudio de la carrera de Ingeniería Civil, de igual forma el objetivo, estructura, contenido, bibliografía de las materias de matemáticas y física, así como de textos recomendados como lecturas fundamentales en el plan de estudios. Analizando el objetivo del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil, se encuentra que la matemática es para: resolver, modelar, identificar, predecir los problemas y fenómenos que se presentan en el entorno social, mismos que dan una idea de predicción de los fenómenos físicos, pero en los contenidos de cálculo, ecuaciones diferenciales, física y materias aplicadas de ingeniería no está integrada en forma explícita la noción de predicción (Stewart, 2008; Zill, 2007; Gardner & Widstoe, 1921; Horton, 1940).

La infiltración generalmente se incluye en la determinación del concepto de pérdida, que es a su vez la diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida. En la pérdida se considera la intercepción en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, retención en depresiones o charcos, así como la evaporación y por supuesto la infiltración. ¿Por qué es importante analizar la infiltración del agua? La importancia de su estudio radica en que es determinante en la relación lluvia-escurrimiento, en problemas de diseño y predicción relacionados a la dimensión y operación de obras hidráulicas, ya que el volumen de este, es varias veces mayor que el de escurrimiento durante una tormenta (Levi, 1989).

Infiltración es el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. (Aparicio, 2004). Considerando un área de suelo suficientemente pequeña, de modo que sus características (tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.), la intensidad de lluvia en el espacio puede considerarse uniforme. Al inicio de una tormenta, el suelo está de tal manera seco que la cantidad de agua que puede absorber en la unidad de tiempo (es decir la capacidad de infiltración) es mayor que la intensidad de la lluvia en los primeros instantes de la tormenta. La infiltración de la lluvia bajo estas condiciones, se expresa de la siguiente manera:

$$si \quad i < f_p \quad f = i$$

Donde:

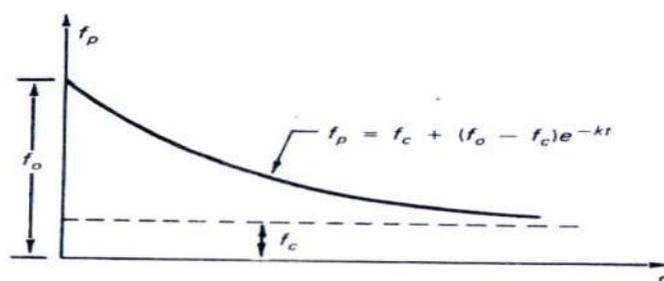
f = infiltración expresada como lamina por unidad de tiempo, por ejemplo, mm/h, f_p = capacidad de infiltración en las mismas unidades.

i = intensidad de la lluvia.

Las fuerzas producidas por la capilaridad predominan en esta parte del proceso sobre las gravitatorias. Si la lluvia es suficientemente intensa, conforme avanza el tiempo, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que la superficie alcanza la saturación. Se empiezan a llenar las depresiones del terreno, dando lugar a la formación de charcos y comienza a producir flujo sobre la superficie, a este momento se le llama tiempo de encharcamiento y se denota como t_p . Si el aumento de la precipitación depuse del tiempo de encharcamiento, las fuerzas capilares pierden importancia frente a las gravitatorias, pues el contenido de humedad del suelo aumenta y la capacidad de infiltración se hace independiente de la variación en el tiempo de la intensidad de la lluvia, en tanto que ésta sea mayor que la capacidad de transmisión del suelo, de manera que:

$$\text{si } i > f_p, \quad t > t_p, \quad f = f_p$$

Donde f_p decrece con el tiempo y las dos primeras desigualdades son interdependientes. Debido a que una mayor parte del suelo está saturada, las fuerzas capilares pierden importancia paulatinamente y llega un momento en que teóricamente $t = \infty$. Para el estudio del proceso de infiltración se han empleado otros métodos, dentro de los cuales sobresale: la fórmula más conocida como Horton, misma que fue publicada por primera vez en 1921 por Gardner y Widstoe y posteriormente en 1940, y aparentemente independiente por **Horton** (Gardner y Widstoe, 1921; Horton, 1940). Para los valores de f_o , f_c , k son propuestos de acuerdo al tipo de suelo.



$$f_p = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

donde:

f_p = es la capacidad de infiltración

f_o, f_c, k = son constantes empíricas

Representación gráfica de la tendencia de la infiltración respecto al tiempo. Fuente: Aparicio (2004).

La dificultad de este método radica en encuadrar al suelo a estudiar en los tipos mencionado en la tabla especificada, las variaciones en f_c son muy grandes por lo que es probable cometer errores, al escoger el valor. Por tanto al incorporar la predicción como práctica social del ingenieril civil, se encuentra que se debe enfrentar con frecuencia con la modelación matemática ante preguntas tales como: ¿Cómo obtener un modelo matemático que represente la función infiltración que estamos estudiando cuando los datos los hemos obtenido experimentalmente? (Villalobos, 2007), ¿Cómo podemos expresar una curva si no tiene una expresión matemática sencilla? Podemos llegar a aproximar el comportamiento de la curva, si la curva es suave y los puntos representativos podemos hacer una buena aproximación de las partes que faltan a través de la predicción y la interpolación partiendo de un punto localmente conocido.

3. MÉTODO: INGENIERÍA DIDÁCTICA

Una de las funciones más importantes de la realización didáctica en clase es que se lleva a cabo la evaluación, análisis de las construcciones teóricas formuladas en las investigaciones. La Ingeniería Didáctica llega a ser tan relevante que se utiliza como metodología de investigación específica, caracterizándose por la experimentación, ya que esta se basa fundamentalmente en las

realizaciones didácticas, retomando tres aspectos importantes: concepción, realización y análisis de secuencias didácticas. La importancia de la realización didáctica en la investigación, determina los niveles de: micro ingeniería y macro ingeniería. De acuerdo a la metodología de la Ingeniería Didáctica, se caracteriza por retomar y comparar otros tipos de investigación, basándose en la experimentación en clase, validando de igual manera, el rendimiento de grupos experimentales y grupos de control. La Ingeniería Didáctica es un producto que resulta del análisis a priori, es decir, durante el transcurso de las interacciones entre el profesor y los estudiantes. Y es también un proceso en el que el profesor ejecuta el producto adaptándolo; el proyecto evoluciona bajo las reacciones de los estudiantes, en base a las selecciones y decisiones del profesor. La Ingeniería Didáctica determina una metodología que es importante debido a las dificultades que surgen en el desarrollo de la clase, al realizar cuestionamientos didácticos, remite a la construcción análisis, argumentos y justificaciones.

4. SITUACIÓN DIDÁCTICA PARA EL PROCESO DE INFILTRACIÓN EN EL CONTEXTO DE LA INGENIERÍA CIVIL

En esta sección se presenta la práctica, los resultados obtenidos, así como el análisis de los mismos. Para cual se expuso el procedimiento para la realización de dicha práctica, de tal forma que se logre tener el conocimiento apropiado al fenómeno, posteriormente al obtener los datos, es posible realizar su modelación.

Se acudió al diseño de situaciones, siguiendo la metodología de Ingeniería Didáctica, como enlace ente esta y la modelación, al igual que sus propiedades. Para la elección de la puesta en escena se consideraron los siguientes factores: cursos tomados y semestre cursado, ya que se tenía el interés que en los equipos existieran los conocimientos fundamentales así como elementales para la ejecución de la práctica e interpretación de los resultados obtenidos. Fase I. Análisis a priori Fase 2. Análisis de los resultados (puesta en escena) Fase 3. Análisis a posteriori.

Se empleo esta metodología ya que se parte de construcciones teóricas que el investigador formula en el proceso de cuestionamiento y formulaciones al inicio de su trabajo ya que lo largo de los intercambios entre el profesor y los alumnos, el proyecto evoluciona bajo las reacciones de los alumnos en función de las decisiones y elecciones del profesor. Estas construcciones involucran actividades como: concepción, realización, observación.

En la fase 1 de Análisis a priori: Se parte de la epistemología inicial del binomio de Newton y la serie de Taylor como marco de referencia para el diseño de la situación didáctica donde la práctica de predicción es incorporada intencionalmente.

Fase 2. Análisis de los resultados (puesta en escena): Esa etapa se inicia en el momento en que se da el contacto investigador/profesor/observador con la población de los estudiantes objeto de la investigación.

Fase 3. Análisis a posteriori: Esta es la última fase de la Ingeniería Didáctica. Esta fase se basa en el conjunto de datos recolectados a lo largo de la experimentación, es decir, las observaciones realizadas de las secuencias de enseñanza, al igual que las producciones de los estudiantes en el aula o fuera de ella. Estos datos se completan con otros obtenidos mediante la utilización de metodologías externas: cuestionarios, entrevistas individuales o en pequeños grupos, realizadas durante cada sesión de la enseñanza, etc. La validación o refutación de las hipótesis formuladas en la investigación.

5. LA DINÁMICA

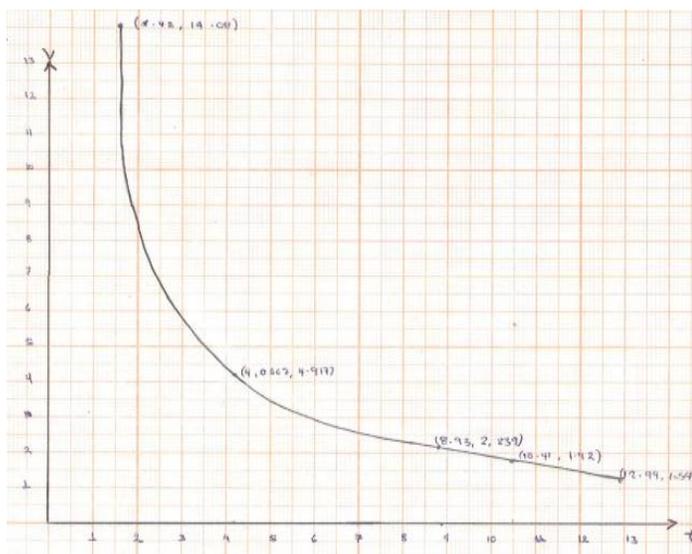
Este protocolo se puede desarrollar a la vez que se recogen muestras para el protocolo de humedad gravimétrica del suelo. Los alumnos seleccionan un lugar a una distancia de 2 a 5 metros, de un sitio de humedad del suelo o un sitio de caracterización del suelo, colocan dos estructuras cilíndricas en el suelo y echan agua hasta unos 5 cm. de altura. Miden y anotan el tiempo que el nivel de agua tarda en bajar una distancia fija de 2-4 cm. esta medición se repite para determinar la facilidad o dificultad con la que el agua se mueve verticalmente por el suelo. Una clase se destinó para construcción y prueba del infiltrómetro de doble cilindro y posteriormente una hora para la medición.

El alumnado puede utilizar un cronómetro o un reloj con segundero para tomar el tiempo del flujo del agua que se introduce en el suelo. Si se utiliza un cronómetro, se comenzará a medir el tiempo cuando se añada el agua en el cilindro interno. Se registrará el tiempo calculado entre el tiempo de inicio y el de finalización del agua recorriendo una distancia establecida. La velocidad de infiltración se determina dividiendo la distancia a la que el nivel de agua decrece, por el tiempo que se requiere para que disminuya este nivel. Esto es lo mismo que la anchura de la banda de referencia del infiltrómetro dividida por la diferencia entre el tiempo de inicio y el tiempo de finalización de un intervalo. La Hoja de Datos de Infiltración puede utilizarse para registrar los datos y ayuda a calcular los valores que se necesitan para determinar los resultados de las mediciones. La velocidad del flujo debe determinarse en el punto medio de los tiempos de intervalo. La infiltración debería disminuir con el tiempo y es importante llevar la cuenta del tiempo acumulado desde cuando se añadió el agua por primera vez en el cilindro interior. La tabla y el gráfico que aparecen a continuación demuestran cómo calcular la velocidad de infiltración y cómo plasmarla en un gráfico.

6. RESULTADOS

T inicial (min)	T final (min)	Intervalo (min)	Punto medio	Acumulado (min)	Velocidad (mm/min)
0	1.42	1.42	0.85	0.85	14.08
1.48	5.52	4.067	3.83	3.83	4.917
6.30	15.26	8.93	10.74	10.74	2.239
15.36	26.06	10.41	20.3	20.3	1.92
26.15	39.10	12.99	32.7	32.7	1.54

Tabla 1. Datos obtenidos por el equipo uno de la segunda puesta en escena



Gráfica de la Tabla 1. La velocidad de filtración de la tierra del equipo uno, segunda puesta en escena.

- 1.- ¿Qué ocurren con los datos? A medida que se repite el procedimiento, la velocidad con la que filtra el agua en el suelo disminuye y por lo tanto lleva más tiempo.
- 2.- ¿Qué ocurre con la gráfica? La gráfica obtenida decrece, la velocidad disminuye y el tiempo aumenta.
- 3.- ¿Varía o permanece constante? La gráfica varía demasiado.
- 4.- De acuerdo a su respuesta ¿A qué cree que se deba? La filtración del agua en el suelo fue un factor del comportamiento de la gráfica ya que al hacer varias veces el procedimiento, el suelo va perdiendo su capacidad de filtración debido a que ésta cada vez estaba más húmeda.
- 5.- ¿Observa algún factor de variación o de constancia? Si, la humedad.
- 6.- ¿La variación de datos es perceptible al inicio del experimento? ¿Y al final? Al inicio no, porque el agua fue absorbida de manera rápida por el suelo, y al final si existe una gran variación porque mientras más se repetía el procedimiento, el agua tardaba más tiempo en absorberse.
- 7.- ¿De qué manera se puede expresar la variación de dichos datos? Mediante una función. Podemos expresar la variación como una relación del tiempo de filtración del agua y la velocidad con la que desciende.
- 8.- ¿Qué observa con los datos? ¿Existe algún momento en que se estabilice la gráfica o sigue variando? No se estabilizará, porque mientras más intentos hagamos el tiempo se irá incrementando.
- 9.- ¿Es posible deducir una ecuación que represente la gráfica obtenida? Si.

T inicial min	T final min	intervalo min	Punto medio min	acumulado	Velocidad mm/min
23	30	7	26.5	3.5	2.857
30	39	9	34.5	11.5	2.222
39	52	13	45.5	24.5	1.538
52	67	15	59.5	36.5	1.33
67	84	17	75.5	52.5	1.176

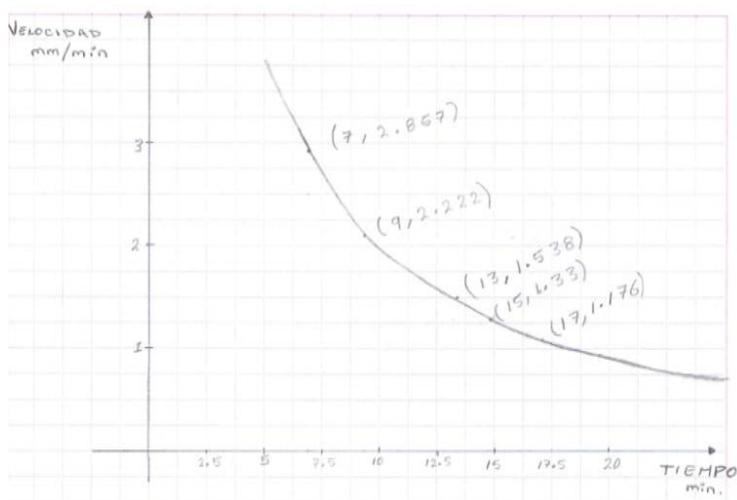


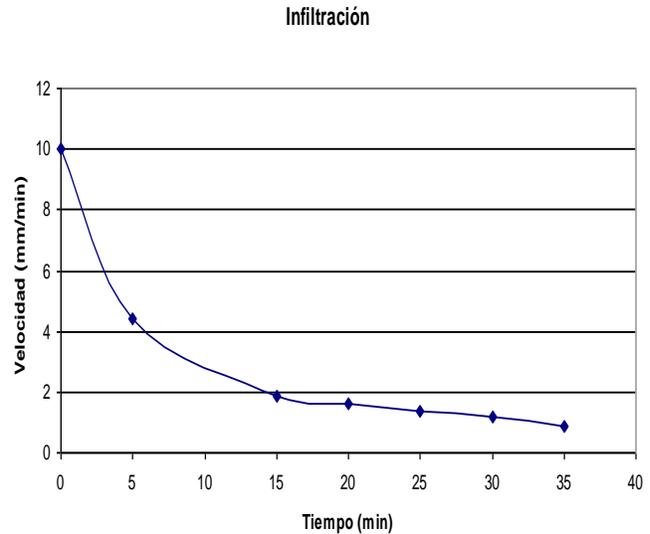
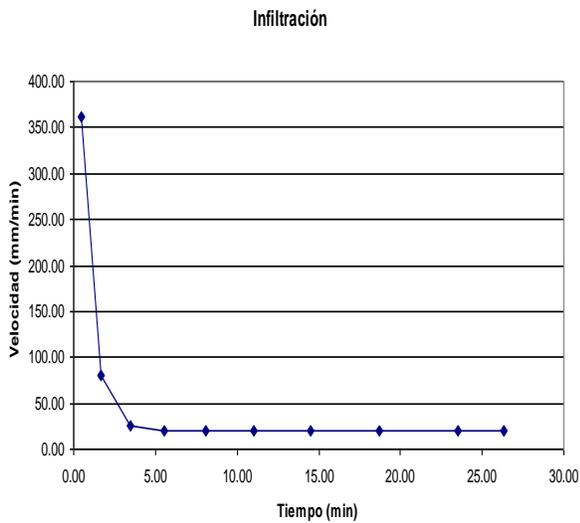
Tabla 2. Datos obtenidos por el equipo dos de la segunda puesta en escena.

Gráfica 2. Gráfica de la Tabla 2 de diferencias del equipo dos, segunda puesta en escena

- 1.- ¿Qué ocurren con los datos? En base a los intentos realizados el agua tardaba más en infiltrarse al suelo.
- 2.- ¿Qué ocurre con la gráfica? Nuestra velocidad disminuye conforme al tiempo.
- 3.- ¿Varía o permanece constante? Varía ya que conforme hacemos más intentos tarda más el agua en bajar.
- 4.- De acuerdo a su respuesta ¿A qué cree que se deba? A la capacidad de filtración del suelo.
- 5.- ¿Observa algún factor de variación o de constancia? Si, la velocidad varía con respecto al tiempo.

- 6.- ¿La variación de datos es perceptible al inicio del experimento? ¿Y al final? Fue perceptible a partir del segundo intento ya que se observa que empezó a tardar más tiempo en bajar el agua.
- 7.- ¿De qué manera se puede expresar la variación de dichos datos? Mediante la relación de tiempo que tarda en filtrar el agua y la velocidad.
- 8.- ¿Qué observa con los datos? ¿Existe algún momento en que se establezca la gráfica o sigue variando? No, siempre varía ya que entre más veces se hacía, más tiempo tardaba.
- 9.- ¿Es posible deducir una ecuación que represente la gráfica obtenida?

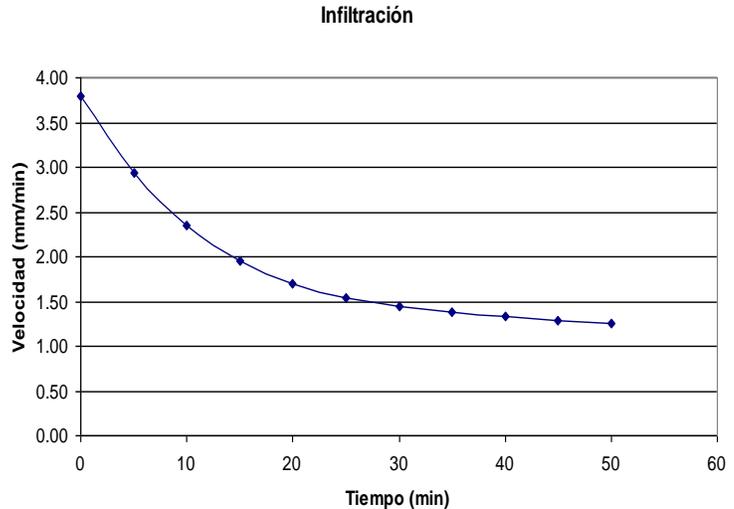
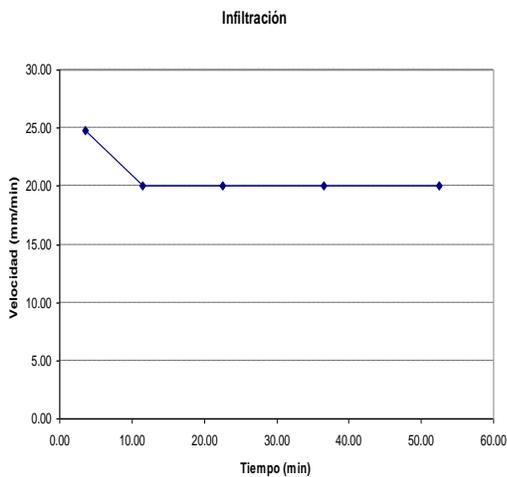
Análisis de datos obtenidos equipo uno de la segunda puesta en escena



1.a Análisis de datos por medio de la Ecuación de Horton

1.b Polinomio de Interpolación

Análisis de datos obtenidos del equipo dos de la segunda puesta en escena



2.a Gráfica de infiltración obtenida de la Ecuación de Horton

2.b Polinomio de Interpolación

Al realizar el análisis de cada equipo con los datos proporcionados, se procedió a analizarlos por medio de la ecuación de Horton de la cual se desprenden los siguientes grupos de graficas: en las graficas 1.a y 1.b corresponden al primer equipo. En la cual se observa que mayor cantidad de puntos mismos que fueron arrojados mediante el polinomio de interpolación de Newton; logrando así mejor precisión en la predicción. Si bien hablar de predicción generalmente se remite a interpolación, actividad que no es más que la construcción de una función que ajusta cierto número de puntos obtenidos por muestreo o a partir de un experimento. Igualmente el término interpolación está asociado a la aproximación de una función complicada por una más simple y de esta manera introducir datos. En Hidrología la infiltración es un fenómeno de suma importancia y para su estudio se emplea el método de Horton usado comúnmente para ejemplificar el comportamiento de dicho fenómeno, a pesar de que este método generaliza los tipos de suelos, dando como parámetros únicamente tres clasificaciones, partiendo de factores sin gran relevancia tales como: la vegetación en términos “desnudo o cubierto de vegetación” cuando en realidad esas son solo condiciones ideales.

7. CONCLUSIONES

La puesta en escena, da pie a que el alumno, explore infiera, deduzca proponga sus ideas mismas que trascienden y crecen de tal forma que producen sus recursos propios para la emisión de un juicio acerca de un fenómeno físico como lo es la infiltración a razón de la formulación de preguntas, por ejemplo: ¿Cuándo el alumno se ha apropiado del conocimiento? Cabe señalar que una de las características sobresalientes de la puesta en escena es: que el conocimiento se utiliza fuera del contexto de enseñanza, en actividades que no involucran una intención didáctica implícita.

De aquí que, reflexionando a partir de los resultados del análisis de fenómeno de infiltración por medio de la ecuación de Horton y del polinomio de interpolación de Newton, se concluye que lejos de unificar y uniformizar el tipo de suelo, el polinomio de interpolación es una herramienta que logra ejemplificar explícitamente y con mayor veracidad dicho fenómeno ya que se obtiene una gráfica de datos que manifiesta el comportamiento clave de éstos, logrando así uno de los “beneficios” de este estudio: la predicción de fenómenos físicos mediante la modelación. Por tanto el presente trabajo refleja la necesidad de establecer planes de estudio que fomenten la capacidad intelectual de los estudiantes, mejorando su contenido temático permitiendo así, la promoción de actividades interdisciplinarias y multidisciplinarias, aplicando métodos pedagógicos para que el proceso enseñanza-aprendizaje sea mas eficaz.

8. REFERENCIAS

- Aparicio F. (2004). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa y Grupo Noriega Editores. México.
- Arrieta Vera, J. (2003). *Las practicas de modelación como proceso de matematización en el aula*. Tesis de doctorado no publicada. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gardner, W., Widstoe, J. (1921). *The movement of soil moisture soil Sci.* 11:215-232.
- Hernández, H. (2006). *Una visión Socioepistemológica de la matematización del binomio de Newton a la serie de Taylor*. Tesis de maestría no publicada, Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Horton, R.E. (1940). *An approach to the physical interpretation of infiltration capacity*, Soil Sci. AM.

- Levi, E. (1989). *El agua según la ciencia*. Ediciones Castell, S. A. México.
- UNACH (2007) *Plan de estudios de la Licenciatura Ingeniería Civil*. Facultad de Ingeniería UNACH-México.
- Stewart, J. (2008) *Cálculo diferencial e integral*. Editorial Thomson Corporation, México.
- Villalobos, C. (2006). *La interpolación en la modelación matemática del proceso de infiltración*. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Zill, D. (1993). *Ecuaciones Diferenciales con Aplicaciones*. Grupo Editorial Iberoamérica. Tercera Edición, México.