

- Capítulo 4 -

**Laboratorio virtual de suelos para  
ecosistemas productivos y ordenamiento  
ambiental del territorio**

## Autores

**Ramón Gabriel Aguilar Vega:** Líder de Investigación en la Facultad de Negocios, Gestión y Sostenibilidad del Politécnico Gran Colombiano, dentro del programa de Tecnología en Gestión Ambiental. Tiene estudios en Administrador Ambiental, es especialista en Sistemas de Información Geográfica, Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo, Especialista en Herramientas virtuales de aprendizaje; además, es magíster en Prevención de Riesgos Laborales.

*Correspondencia:* raguilar@poligran.edu.co; ragagu777@gmail.com

**Miguel Ángel Rodríguez Castellanos:** Ingeniero Civil de la Universidad Católica de Colombia, Máster en Gestión y Auditorías Ambientales de la Universidad de León en España, Especializado en Educación Ambiental y Gestión Integral del Agua. Consultor de Proyectos Ambientales. Experiencia de 20 años en la Industria del Sector Cerámico en la Organización CORONA, 5 años como jefe de Gestión Ambiental y 15 años con áreas afines a Gestión Tecnológica. 6 años como consultor en sectores Minería Subterránea de Carbón, Alimentos, Ganadería, Procesamiento de residuos, pinturas y pegantes, alimentos. 7 años de experiencia como docente presencial y tutoría virtual en el Politécnico Gran Colombiano en temas de medio ambiente. Conferencista ocasional de la Universidad Externado de Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, Cámara de Comercio de Bogotá.

*Correspondencia:* mirodrig@poligran.edu.co; mapa.rodriquezc7@gmail.com

**Jorge Mario Torres Mesa:** Biólogo con estudios de maestría en desarrollo rural, consultor en temas de educación ambiental y desarrollo rural y turismo sostenible. Como biólogo, su formación académica, humana y laboral se ha enfocado en el desarrollo y la implementación de propuestas útiles en el campo y en la academia, para la sostenibilidad ambiental, desde el uso racional de los recursos, la planificación territorial basada en recursos.

*Correspondencia:* jomtorres@poligran.edu.co; jorgemariotorres31@gmail.com

## Resumen

El proceso de enseñanza ha cambiado con el tiempo, el modelo educativo tradicional donde era necesaria la presencia del docente en el aula para la transmisión del conocimiento se ha transformado, ahora encontramos a un estudiante que actúa con diversos ambientes de mediación tecnológica. Entre

ellos están los laboratorios virtuales, especialmente en el análisis de la calidad del suelo; este proyecto presenta dos laboratorios para la calidad del suelo; uno, desde los ecosistemas y la producción; el otro, desde el ordenamiento ambiental territorial, con dos estrategias de enseñanza completamente diferentes; la primera, desde el conocimiento de los ecosistemas y los procedimientos para calcular los parámetros fisicoquímicos y biológicos en el suelo que le permiten al estudiante medir y analizar el tipo de suelo y el estado del mismo. El segundo laboratorio se trabaja desde casos donde el estudiante debe realizar un análisis y resolverlos; además del diagnóstico del suelo, debe proponer soluciones y sugerencias para la remediación y vocación del suelo. Este laboratorio es una propuesta más completa e integral de las que existen y se plantea como una experiencia de innovación educativa para la gestión ambiental.

**Palabra clave:** Laboratorio de suelos, Ecosistemas Colombianos, Tipos de suelos, parámetros fisicoquímicos, Análisis Biológico, Fertilidad, Materia orgánica, Fitopatógenos, Ordenamiento territorial, Planificación, Usos del suelo, laboratorios virtuales, ambientes inmersivos de aprendizaje.

## Introducción

Los componentes nutricionales del suelo dependen de muchas características, entre estas el origen del mismo y la formación que tienen. En Colombia están 11 órdenes de suelo de los 13 que existen; tales órdenes de suelo influyen en los componentes vegetales y animales que se encuentren encima de ellos ya que los componentes de cada orden influyen en la dinámica nutricional, hídrica o de textura del suelo asociada a cada uno de estos órdenes; es por esto que los laboratorios están diseñados no solamente para comprender los procesos básicos que se hacen en un laboratorio de suelos, sino también para relacionar los órdenes de suelo con los ecosistemas.

Con el fin de comprender los procesos de los ecosistemas productivos y su importancia se diseñó un laboratorio sobre la calidad del suelo, relevante para realizar muestreos, diagnosticar el estado actual de los procesos de contaminación, analizar parámetros sanitarios para la agricultura y la alimentación, para con esa información generar planes de acción para la

biorremediación. En un laboratorio de suelos se hacen análisis físicos, químicos, biológicos, mecánicos, mineralógicos y micro morfológicos con métodos estandarizados; aquí sólo trabajaremos los primeros tres por ser los más relevantes para el gestor ambiental. De igual manera, para el gestor es de suma relevancia abordar las problemáticas reales que se viven en nuestro territorio.

Por tal razón el proyecto inicial se dividió en dos laboratorios, uno centrado en ecosistemas y producción donde se abordan los análisis fisicoquímicos y biológicos del suelo, además de los principales ecosistemas del país. El otro, centrado en el ordenamiento ambiental del territorio desde el análisis y resolución de casos reales con una práctica en geovisores.

La innovación educativa radica en tres puntos estratégicos; el primero, que los laboratorios se diseñan para un estudiante virtual donde por medio de ambientes inmersivos de realidad virtual se recrean algunas situaciones in situ y en laboratorio, además incorpora la visualización de los procedimientos y manejo de los aparatos y elementos de un laboratorio. El segundo factor es la incorporación para el estudiante de una situación de aprendizaje desde lo procedimental y el análisis de resultados combinado con una propuesta de análisis de casos, que llevan al laboratorio a un proceso no sólo de obtención de datos, análisis y respuesta de los mismos, sino también a la proposición de soluciones y toma de decisiones en el ordenamiento territorial, donde no hay laboratorios de suelos para este fin. El tercer punto es que es el primer laboratorio que incluye los ecosistemas estratégicos colombianos en el análisis de suelos.

## **Marco teórico**

### **Problemática que atiende**

Benavides y Medina (2012) proponen que es prioritario estructurar una formación que permita la adecuada toma de decisiones en la protección de los recursos naturales, el desarrollo sostenible y el bienestar humano propuesto.

Por su parte, uno de los requerimientos de la nueva normativa expedida por el Ministerio de Educación (decreto 1330 del 2019) es que el estudiante pueda realizar análisis práctico de las metodológicas para el muestreo de suelos y sus componentes logrando el aprendizaje significativo, al aplicarlas el estudiante

se acerca al entorno profesional necesario para lograr las competencias que requiere su desempeño laboral como gestor ambiental.

Varas Meza, Suárez-Amaya, López-Valenzuela, y Valdés-Montecinos (2020) plantean que los factores que influyen en la expansión de la educación ambiental en América Latina deben tener un modelo que permita afrontar la crisis generada por la pandemia y posibilitar en los estudiantes atender la realidad por medio de simulaciones. La simulación en la educación es importante porque facilita el trabajo colaborativo, la experimentación de los estudiantes donde estos cambian los parámetros de entendimiento de las relaciones sociales y de aprendizaje mediadas por tecnologías (Bonilla 2020).

Para la aplicación de los lineamientos del Ministerio de Educación en estudiantes presenciales en el programa de Tecnología en Gestión Ambiental se cuenta con laboratorios físicos en química, física y de procesos industriales; por lo tanto, se adaptan las prácticas a ciertos parámetros posibles de lograr con la infraestructura actual. Es evidente que faltaban equipos especializados para el análisis de la calidad del suelo, del agua y del aire, lo cual también es complejo de conseguir por sus altos costos y reactivos peligrosos para la manipulación.

Por su parte, los estudiantes de modalidad virtual abordaban estos temas solamente desde lo teórico, lo que dificultaba la comprensión de los parámetros y su aplicación en áreas reales. De allí nace la necesidad de crear un laboratorio aplicable para los estudiantes en las dos modalidades, por lo tanto, se propone la creación y diseño de un laboratorio de suelos interactivo, donde los estudiantes realicen la emulación de los procedimientos de laboratorio, la recreación del tratamiento de las muestras y la manipulación de los equipos, así como la obtención de los resultados que permitan la toma de decisiones. La propuesta tiene como objetivo que los estudiantes adquieran un aprendizaje significativo que facilite la comprensión de temas complejos a través de un ecosistema digital colaborativo.

De igual manera, se plantea otro tipo de laboratorio para el ordenamiento ambiental del territorio, donde se proponen algunos casos que los estudiantes deben resolver y plantear soluciones a problemáticas reales, esto crea en ellos un reto de aprendizaje y les permite analizar parámetros en el suelo como densidad, humedad, pH, factores fisicoquímicos donde relacionan las condiciones reales con los usos apropiados del suelo.

Con el laboratorio de suelos se espera que los estudiantes tengan múltiples beneficios en su experiencia de aprendizaje y una mejor preparación para su desempeño profesional y empresarial. Asimismo, un análisis adecuado en la planificación territorial y una toma adecuada de decisiones en el ordenamiento ambiental del territorio, los ecosistemas y producción, el uso de suelos, agricultura, vocación del suelo, y la protección de los recursos naturales.

## **Antecedentes**

Actualmente existe un sinnúmero de herramientas en la web de otras entidades y universidades con experiencias parecidas o similares. Un ejemplo es el laboratorio virtual para el manejo de suelos de la Universidad Nacional Autónoma de México (<http://www.objetos.unam.mx/quimica/suelo/>), este laboratorio plantea alternativas para las mezclas homogéneas o heterogéneas del suelo, con un análisis del color, las texturas, horno y probeta; aunque es una interesante herramienta de apoyo al aprendizaje y de acceso abierto que puede ser un apoyo valioso para el empleo del docente en su clase, la interacción del estudiante se limita al diligenciamiento de hipótesis, cuenta con vídeos que muestran algunos pasos, pero no permite que el estudiante realice experimentos, convirtiéndose en un ambiente de aprendizaje pero no en un weblab. Este ambiente virtual hace parte de una serie de objetos de apoyo académico a la educación en distintas áreas, entre ellas biología, química, física, geografía, lógica, matemáticas, etc. Disponible en: (<http://www.objetos.unam.mx>)

Otro tipo de laboratorio virtual es Virtualplan, cuyo enlace para acceder es (<https://www.virtualplant.co/complejos/ambiental>), portal donde recrean simulaciones para los profesionales y la enseñanza; tiene los componentes de suelo, aguas, aire, bioprocesos y sustentabilidad. El laboratorio de suelo presenta una interfaz con render en 3D donde se recrean la medición de los parámetros ambientales para suelos y los principios de diseño de rellenos sanitarios. Es un software de costo donde las instituciones universitarias pagan el licenciamiento para emplear los laboratorios.

Es una herramienta valiosa para el aprendizaje; además, con el uso de realidad virtual la interacción del estudiante es mayor. El laboratorio diseñado en este proyecto también tiene modelos en 3D, la diferencia es que los parámetros

son más específicos y se trabajan diferentes taxonomías de suelos y la relación con los ecosistemas; asimismo se abordan las problemáticas presentes, y los experimentos están enfocados en la obtención y medición de los parámetros, así como el análisis de casos.

Otro portal de laboratorios es Cloudlabs (<https://cloudlabs.us/es/home-es/>) también pago, su objetivo es el sector de educación media, ciencias e ingeniería son sus bases pedagógicas y tiene un aprendizaje basado en contextos, donde los estudiantes aprenden con imágenes relacionadas con los temas actuales en la universidad. En el componente suelo se tiene un módulo de agricultura, agroecosistemas y terrenos. Tienen una simulación de laboratorio de suelos con una interfaz básica para centros educativos. Tiene un enfoque muy comercial y es difícil encontrar solo las relaciones de ecosistemas y suelo.

El laboratorio de suelos del Politécnico Grancolombiano se destaca por contar con tres componentes con respecto a las anteriores propuestas: 1. Las prácticas se abordan desde los diferentes ecosistemas de Colombia mediante la relación de los distintos órdenes de suelos con la política de gestión integral de suelos y con sus taxonomías. 2. Se trabaja con los parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten determinar la biodiversidad del país. 3. Se abordan los ecosistemas y los parámetros más representativos, tanto físicos como químicos y biológicos del suelo.

## **Estrategia de enseñanza**

La experiencia de aprendizaje se diseñó pensando en las particularidades de los módulos o asignaturas en los cuales se van a emplear los laboratorios, por lo tanto, un laboratorio se hizo desde lo procedimental (ecosistemas y producción) y el otro se hizo desde la casuística (ordenamiento ambiental del territorio).

Para los autores era fundamental que el laboratorio ayudara a generar espacios de práctica que acercaran a los estudiantes a situaciones próximas al entorno, por eso el aprendizaje situado fue fundamental y transversal en los dos laboratorios. Desde esa perspectiva no sólo es la situación que genera el ambiente o la recreación de los espacios en realidad virtual, también el entorno. Gruppen, Irby, Durning y Maggio (2019) plantean que el entorno se

compone de lo afectivo, las relaciones con los otros y la experiencia vivida por cada estudiante; estos tres elementos sólo pueden reseñarse después de que el estudiante ha realizado la experiencia, por lo tanto, lo que se debe incluir en el diseño es pensar cómo el estudiante va a vivenciar sus prácticas en el laboratorio y desde allí planear los elementos, por eso el diseño incluye no solo la herramienta de software, también los materiales didácticos como guías de laboratorio, tutoriales de manejo.

López, Álzate, Echeverri y Domínguez (2021) plantean que el aprendizaje situado es basado en la acción y en el contexto; lo primero involucra actividades a través del cuerpo y lo segundo una narrativa relacionada con el contexto social/histórico del estudiante y los recursos ambientales disponibles. Tanto en el laboratorio de ecosistemas y producción como en el de ordenamiento territorial se tienen estos elementos en cuenta, por eso para el primero se plantea una práctica relacionada con los diferentes biomas y elementos ecosistémicos con los diferentes órdenes de suelos descritos para Colombia, además recrea por medio de realidad virtual las tomas in situ y los elementos de un laboratorio real. Para el segundo -de ordenamiento- se utilizó el Sistema para la planeación rural agropecuaria (SIPRA) que es un geovisor y permite ver en tiempo real elementos propios de la región y la forma como están organizados, este es un sistema de “mundo espejo” que pretende ser un reflejo virtual del mundo real.

Para el laboratorio de ecosistemas y producción era prioritario el conocimiento de metodologías estandarizadas nacionales e internacionales para la obtención de los parámetros más importantes que permitan determinar la calidad del suelo y el manejo equipos especializados; se diseñaron las seis prácticas con tres entregas, cada una con dos prácticas. La primera es una práctica autoevaluable con actividades de opción múltiple que fuera calificada por el sistema. Para cada una de las siguientes prácticas se establecieron los parámetros más importantes sobre el suelo, tanto fisicoquímicos como biológicos. Para la medición de los parámetros se emplearon diferentes metodologías y procesos, cada práctica tiene una secuencia didáctica donde el estudiante realiza el paso a paso hasta obtener el valor del parámetro, luego en su informe según los resultados obtenidos debe determinar el tipo de suelo, características y potenciales usos.



Por su parte, para el laboratorio de ordenamiento territorial era fundamental que los estudiantes fueran capaces de analizar los resultados del suelo y determinar el uso y la distribución, es decir, su ordenamiento tanto para organizaciones como para la gestión ambiental. Desde esa perspectiva se plantearon varios casos, distribuidos en un municipio denominado Tangamandarino, donde se ven afectados los diferentes componentes ambientales en el municipio; de esa manera se realizaron 6 problemáticas diferentes; sin embargo, el estudiante y su equipo abordan solo una de ellas y deben realizar el proceso que va desde el análisis del caso hasta la propuesta de soluciones y mitigaciones de las problemáticas, es un proceso basado en la toma de decisiones en los entornos reales para el trabajo de diversificación de capacidades tecnológicas.

De acuerdo con Castro García Del Valle (s.f.) el caso consiste en la descripción de una situación problemática de la realidad que incluye los datos necesarios para que el estudiante realice su análisis; para resolverlo es necesario que tome decisiones y realice una propuesta de solución. Es fundamental que los casos provengan de situaciones reales, por tal razón, algunos se estructuraron a partir de sentencias de ley y otros por vivencias profesionales de los autores en el campo. Para la resolución del caso el estudiante debe tener en cuenta las características del suelo según su clasificación en Colombia, la normativa legal y su injerencia en la planificación OAT.

El proceso también consta de tres entregas, la primera es sobre el trabajo con georreferenciadores, para la segunda y tercera entrega al ser un trabajo colaborativo, los estudiantes reciben un caso de seis posibles que se asignan de manera aleatoria por el sistema, y debe realizar dos entregas, cada una es un avance en la resolución del caso; la primera es el diagnóstico de la situación y la segunda contiene las posibles soluciones con sus argumentaciones.

En líneas generales, el diseño pedagógico para un laboratorio de calidad de suelo para ecosistemas y producción y OAT es un cambio en los ambientes de aprendizaje no sólo por la representación de situaciones reales, el modelamiento de las variables, sino que -como proponen Contreras Gelves y Carreño Moreno (2012)- facilitan el logro de determinados resultados de aprendizaje, sobre todo, cuando se aplican metodologías activas donde los estudiantes pueden operar sus conocimientos y tomar sus propias decisiones.

## Modelo para la simulación

Para el laboratorio de ecosistemas y producción, en la primera práctica se establece la relación entre los diferentes biomas y elementos ecosistémicos teniendo en cuenta las diferentes franjas altitudinales que tiene el país, se relacionan especies representativas de fauna y flora, junto con los diferentes órdenes de suelos descritos para Colombia, según la política para la gestión sostenible del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013), y de acuerdo con esta política se tuvieron en cuenta los once órdenes de suelos. Para la práctica se tomaron las siguientes taxonomías: Entisoles, Inceptisoles, Andisoles, Vertisoles, Aridisoles, Molisoles, Histosoles, Espodosoles, Alfisoles, Ultisoles, Oxisoles, sin incluir los Gelisoles porque según la política no se encuentran en el país. Asimismo, para los factores que determinan la clasificación de cada uno de los suelos y los ecosistemas presentes en el país relacionados con cada uno de estos órdenes, se trabajó con las claves de la taxonomía de suelos USDA (2014).

Durante el proceso en el laboratorio de suelos se representaron los principales ecosistemas estratégicos, como la zona biogeográfica del Chocó, los manglares y las selvas húmedas tan frágiles afectadas en este momento por la minería ilegal y la degradación de suelos por la deforestación. El proceso se basó en la Política Nacional de la Gestión Integral del Suelo (GAIS) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013), donde se representa desde la normativa a nivel nacional hasta la incidencia de los usos y su manejo. Para el caso de Chocó se tomaron como referencia varios ecosistemas representativos, como el área del Darién, zonas costeras, Baudó y Utría.

En el atlas ambiental climatológico propuesto por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) se tomaron valores como radiación, precipitación anual, velocidad del viento, brillo solar, entre otros. Es muy importante conocer estos datos para visualizar los cambios climáticos históricos y los pronósticos, como el municipio el Lloro, la zona donde más llueve en Colombia, o el área que tiene una mayor velocidad del viento (Casas Herrera, Gonzáles Flórez, Segura, Mosquera, & Dávila, 2018). También se tuvo en cuenta la altura en metros sobre el nivel del mar, hasta llegar a las taxonomías de los suelos presentes en cada ecosistema.

En las prácticas siguientes se conservaron las taxonomías, lo que varió fueron los tipos de parámetros que se abordaron en cada una de ellas. Para la práctica 2 se abordaron los parámetros físicos, como textura determinada por la proporción de partículas minerales de diverso tamaño presentes en el suelo, densidad se refiere a la cantidad de masa por unidad de volumen del suelo, temperatura que influye en la distribución de la vegetación, color que depende de sus componentes y varía con la cantidad de humedad, humedad se mide con el higrómetro, determina la presencia o ausencia de elementos vivos, y profundidad efectiva.

En la parte de textura se inicia emulando el proceso del tamizaje para separar los distintos tamaños de arena, limo y arcilla. Bajo esta metodología se emplea el triángulo de textura de las USDA en donde las partículas que componen el suelo tienen diferentes tamaños y porcentajes; a partir de estos porcentajes se define de mayor a menor la textura del suelo, de esa manera el estudiante determina si el suelo es franco arenoso, franco, limoso arcilloso, franco arcilloso, franco limoso, limoso arcilloso (Ciancaglini-Prosap, 2017).

El otro parámetro es la densidad, que se refiere a la cantidad de masa por unidad de volumen del suelo, este valor de densidad de un suelo es un buen referente del grado de compactación o reducción del espacio poroso, de la aireación del suelo; resultando ser un buen indicador de la calidad del suelo (Yule, 1984).

El contenido de agua presente en el suelo al momento de la toma de la muestra es uno de los factores que varía de manera importante el valor de la densidad, debido al cambio equivalente del diámetro de los poros (Gardner, 1988). Con el valor de la densidad se puede establecer la facilidad de la penetración de las raíces al suelo, estimar la masa de la capa arable la porosidad total.

Uno de los parámetros más complicados para representar fue el de los colores de los suelos, para ello se tomó la “metodología de Munsell” o sistema de notación Munsell, que da las pistas iniciales para evaluar o analizar las texturas, orígenes del suelo, contaminación y su naturaleza a partir de su color, desde colores rojos, amarillos, cafés o negros con las degradaciones que afectan las distintas formas de su granulometría, humedad y densidad. Este sistema -planteado por Henry Munsell (1858-1918)- se puede catalogar como uno de los pioneros en teorías de color (Bautista et al., 2021). De profesión pintor y

artista del siglo XVIII, sus aportes principales fueron crear una esfera del color y la teoría para organizar los matices de las tonalidades primarias, describió la iluminación y las afectaciones que tenía en la percepción del color y la saturación en las representaciones artísticas. Creó lo que se conoce como la dimensión del color que hasta hoy se utiliza inclusive en los ordenadores. El sistema de colores de Munsell se basa principalmente en tono valor y croma.

Otros parámetros físicos como temperatura, profundidad efectiva, humedad y el parámetro químico del pH, se hacen con la simulación de un aparato de medida de acuerdo con la taxonomía de suelo que le fue asignada por el sistema al estudiante.

Para la tercera y cuarta práctica se trabajaron los parámetros químicos como: Ph, Fósforo, Magnesio, Aluminio, Nitrógeno, Potasio, con estos indicadores valorados determinando la correlación existente de ecosistemas, taxonomía, tipo de suelo, rangos de valores, a partir de tomas in situ y/o análisis de laboratorio que se requieren realizar. Con los datos obtenidos de cada uno de estos parámetros el estudiante está en capacidad de establecer con criterios técnicos si los valores son altos o bajos, la importancia de los macronutrientes y micronutrientes y sus implicaciones a nivel de fertilidad y producción. De esta manera, puede diagnosticar o establecer planes de mejoramiento, estabilización, recuperación o aprovechamiento de los mismos, acorde con el objetivo de aprovechamiento, uso, explotación que se desee ejecutar en los mismos, complementando lo establecido en la política de gestión integral de suelos.

Se seleccionaron para los laboratorios algunos macronutrientes del suelo que son indicadores de calidad ambiental como: NPK Nitrógeno, Fósforo y Potasio necesarios para hallar vertimientos en el suelo, como en ecosistemas lénticos y lóticos.

El fósforo (P) se seleccionó para el laboratorio como un elemento esencial para la vida, siendo fundamental en el metabolismo de los organismos. Además de participar en innumerables rutas metabólicas, el P es un componente de las moléculas esenciales de la célula, tales como los fosfolípidos, ARN, ADN y del principal cofactor nucleotídico (ATP), requerido para la transferencia de energía y catálisis celular (White y Metcalf, 2007). Este macroelemento es esencial para el crecimiento de las plantas. Participa en los procesos metabólicos como la fotosíntesis, la transferencia de energía, la síntesis y degradación de los carbohidratos. Se encuentra en el suelo en compuestos orgánicos y en minerales.

Por su parte, el Magnesio o “magnesium” del griego está relacionado con la magnetita y el manganeso; en el suelo es característico de áreas con nivel de acidez muy alto, como francos y arcillosos. El magnesio es un componente de la clorofila y de enzimas. Un síntoma de la deficiencia de magnesio es la pérdida del color en las hojas más viejas y una clorosis intervenal. Para medir el nivel del elemento, se usa el procedimiento de absorción atómica (Gómez Giraldo, 2013). La espectrofotometría se basa en la interacción de la materia con la energía radiante en un rango de longitud de onda específico para cada método; para el caso de la absorción atómica determinamos los elementos que absorben energía en un rango del espectro electromagnético que va entre los 180 nanómetros hasta los 789 nanómetros.

Algunos micronutrientes como el aluminio intercambiable ( $Al^{++}$ ) se determinaron por métodos estandarizados como titulación; que consiste en determinar la concentración de la solución; este parámetro es muy importante para la retención de nutrientes en las plantas, la asociación con enfermedades como clorosis es fundamental para la absorción de elementos como Magnesio o Potasio (Sánchez, 2012). Está relacionado con los efectos de la división celular en plántulas y asociado a la contaminación en metales pesados, especialmente en la determinación de parámetros fisicoquímicos.

Para calcular el nitrógeno total se empleó el método Kjeldah, consistente en cuatro pasos básicos que son: digestión de las muestras de suelo con ácido sulfúrico, destilación de la solución, titulación del destilado y cálculo del resultado. Se realizaron ambientes donde se simulaban los equipos, como tubos digestores Kjeldah, y sistema Scrubber (para el control de los gases contaminantes) (Jarquín-Sánchez, Salgado-García, Palma-López, Camacho-Chiu, & Guerrero-Peña, 2011). Los procesos de obtención de los resultados en el método de Kjeldah en laboratorio físico pueden ser muchas veces costosos y riesgosos para la persona o estudiantes que los utilizan (Pan, 2011).

El potasio es un determinante de la calidad de los frutos, está relacionado con la producción de carotenos que les dan color a las células de las cáscaras. Para determinar el  $K^+$  intercambiable se utilizan los métodos de Oniani, fotómetro de llama, y espectroscopia de absorción atómica. La más utilizada en la parte ambiental es la intensidad de la concentración de átomos de K. Para nuestro caso de suelo se utilizó un fotocolorímetro, que es un aparato que mide por medio de la luz los colores comparándolos con curvas estandarizadas, proporcionando la cantidad o concentración de Potasio (K) (Duymovich & AchemDuymovich, C., Acheme, R., Sesini, S., & Mazziotta, 2005).

Para la práctica de materia orgánica del suelo, como primera medida se debe contar con una muestra de suelo del área donde se requiere determinar todo material que tenga origen orgánico, ya sea que este descompuesto parcial o totalmente (sustancias húmicas) o sin descomposición. Este contenido de materia orgánica es importante porque así se determina la calidad y productividad del suelo, es de vital importancia para los proyectos productivos ya que la nutrición del suelo asociada a la productividad determina qué tan productivos pueden ser los cultivos; por otro lado, estos procesos de determinación se deben hacer preferiblemente cada 2 años ya que al tener varios cultivos en un área determinada las características nutricionales de este suelo cambian. Para esta práctica se trabajó con el método Walkley y Black.

Para la práctica de fertilidad se trabaja a través del método de capacidad de intercambio catiónico, método del acetato de amonio; el catión es un elemento de carga positiva; y el método ayuda a determinar los factores nutricionales del suelo categorizados como macro y micronutrientes tienen carga positiva. La capacidad de intercambio catiónico está determinada por la suma de las cargas negativas de los minerales del suelo y la posibilidad que tienen estos para adherirse a los factores nutricionales disponibles (Ca, Mg, Na, K y otros). Conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo permite determinar la posibilidad que tiene el suelo para intercambiar o retener nutrientes, así como la importancia y temporalidad de fertilizantes para reemplazar los nutrientes perdidos.

Para el laboratorio de ordenamiento territorial se construyeron varios casos a partir de problemáticas reales, ilustrados todos en un pueblo ficticio con escenarios de realidad virtual que permiten una mayor interacción del usuario y compromiso con el caso. Las problemáticas para este laboratorio fueron:

**Caso 1. Derrame de hidrocarburos:** Este caso describe una presunta afectación ocasionada por un derrame de hidrocarburos o percolación de contaminantes químicos en el suelo y agua. Lo que se pretende es que el estudiante evalúe y estudie la información técnica y análisis de laboratorio suministrada, contrastándola con los valores permisibles o requerimiento de los mismos en el suelo y finalmente genere un diagnóstico y alternativas viables con las respectivas recomendaciones y conclusiones del caso desde la perspectiva ambiental.

**Caso 2. Construcción de baja densidad campestre:** En este estudio de caso se plantea la situación del desarrollo de un proyecto de construcción de baja densidad campestre en una zona de reserva forestal en el municipio de Tangamandirino. Lo que se pretende es que el estudiante evalúe y estudie la información técnica suministrada, análisis de laboratorio, estudio de suelos y perfiles estratigráficos, contrastándola con la normatividad ambiental sobre construcciones en zonas de reserva forestal o y finalmente genere un diagnóstico y alternativas viables con las respectivas recomendaciones y conclusiones del caso desde la perspectiva ambiental.

**Caso 3. Restauración:** se analiza la industria, que es vital para la conservación de los suelos y la mitigación al cambio climático. Sin embargo, las respuestas a las actividades que generan impactos y aspectos ambientales son necesarias para lograr el desarrollo sostenible y el equilibrio con la comunidad circundante. El planteamiento del caso restauración se desarrolla en la actividad de alimentos, y sus procesos industriales, y el ordenamiento territorial, con su posible afectación al entorno. Se simulan Las zonas de recreación y arborización (parques) estructura ecológica principal y áreas de protección, el estudiante se enfrentará a situaciones como especies introducidas o exógenas, contaminación de suelos, gestión de riesgo entre otros.

**Caso 4. Vocación:** el uso del suelo es fundamental en el ordenamiento ambiental del territorio, por ello en este caso se manejan características de estructuras de planificación territorial, para un municipio de 11.0000 habitantes que requiere actualizar su plan básico de ordenamiento, y uno de sus componentes frente a los desafíos que plantean, como es el manejo de residuos, protección de rondas hídricas, áreas protegidas y restauración de áreas deforestadas especialmente por actividades antrópicas. El estudiante analiza las condiciones específicas de manejo del suelo y su vocación, que es fundamental para generar alternativas dentro PBOT.

**Caso 5. Hotel bioclimático:** Este caso ejemplifica la necesidad de sostenibilidad del territorio, teniendo en cuenta la biodiversidad, los ecosistemas y la compatibilidad que tienen estos con proyectos que pueden generar empleo y posibilidades económicas para las poblaciones

cercanas, a la luz de la normatividad vigente, que de una u otra manera es el derrotero con el que el gestor ambiental tiene que responder en su día a día. El caso se propone desde la posibilidad de construir un hotel que cumpla con todas las regulaciones para ser considerado como un negocio verde, en donde si bien el uso de suelo indica que el área donde se quiere pedir la licencia está en suelo de expansión urbana, el área colindante es un área de reserva, la cual en la legislación nacional tiene elementos a tener en cuenta a la hora de construir; por otro lado, hay otros elementos a tener en cuenta, como el tipo de suelo y el tipo de área determinada como riesgo no mitigable.

**Caso 6. Planta de transferencia de residuos:** La problemática de los residuos sólidos está asociada a cómo eliminar y transformar estos residuos y los impactos que estos generan en el país; la posibilidad de la transformación de los residuos genera la disminución de los residuos sólidos, que finalmente son enviados a los rellenos sanitarios. La problemática de la construcción de las plantas de transferencias radica en la dinámica de ser vecino de un área donde se manipulan residuos sólidos teniendo en cuenta los imaginarios que representa. Los impactos que se generan, teniendo en cuenta la normatividad asociada son los aspectos que se deben tener en cuenta para la realización de este laboratorio.

## Desarrollo de la experiencia de aprendizaje

Para el desarrollo de la experiencia del laboratorio, al ser un ambiente virtual, se emplean recreaciones en ambientes en 3D que permitan al estudiante experimentar y visualizar el proceso; por tal motivo, para la construcción de los ecosistemas en la primera práctica se trabajó con renders 3D combinados con imágenes fotográficas tomadas por los autores, se estructuraron las interfaces para las preguntas y se diseñó el sistema de calificación por porcentaje.

Para las siguientes prácticas, además del modelo matemático se elaboró el procedimiento de cada uno, llevándose a los elementos del laboratorio en objetos y modelos 3D, que cuando el estudiante los selecciona hay una animación del procedimiento; para lograr este punto se hicieron las recreaciones en RV de los ambientes de un laboratorio, las animaciones permitieron que después se hiciera una programación de objetos para los diferentes elementos



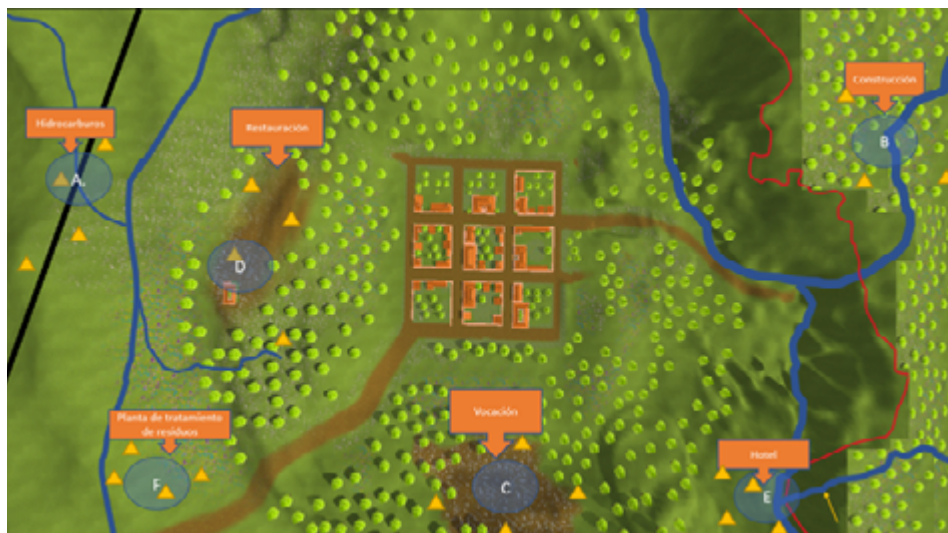
del laboratorio. Algo similar se hizo con la toma de muestras in situ y la emulación de las mediciones de los aparatos de medida como el pH metro, el higrómetro, el metro laser, etc.

De igual manera, se emulan en ambientes RV los procedimientos y funcionamientos de los aparatos del laboratorio, se diseñó un área de resultados donde quedan consignadas todas las mediciones obtenidas; para ello se hizo una programación compleja porque el sistema para las prácticas toma uno de los once suelos y se lo asigna al estudiante, y se tiene una serie de parámetros de acuerdo con cada tipo de suelo, entonces el sistema toma los rangos y genera casos diferentes, así los estudiantes tengan el mismo tipo de suelo. La idea es que ellos descubran cuál es el suelo que les correspondió. De esas tablas de datos se crean las tablas de resultados que descargan los estudiantes y que deben analizar para realizar su informe.

Por su parte, para el desarrollo del laboratorio de ordenamiento territorial se diseñaron seis casos que se desarrollan en la cabecera municipal del pueblo Tangamandirino; en la Figura 1 se ve la recreación del municipio en vista superior, la línea negra representa el oleoducto, las azules son los ríos y la roja significa que es el límite de una reserva forestal, los triángulos amarillos son los puntos donde se toman las mediciones. Los círculos azules transparentes son espacios de acercamiento donde el estudiante puede hacer el zoom y ver qué sucede en cada caso en la animación 3D. Para cada caso:

- a.** Se ve el derrame de petróleo en el río.
- b.** Se ve el bosque y se ve a lo lejos el pueblo debe estar a una altura de la montaña sobre el pueblo.
- c.** Se ve a unos campesinos cultivando la tierra y están fumigando manualmente con un cacorro y un tractor.
- d.** Se ve una empresa de galpón de pollos.
- e.** Frente al punto se ve la montaña y la cascada que cae desde la montaña, está en un valle cerca al río.
- f.** Se ve una planta de aprovechamiento de residuos sólidos.

**Figura 1.** Vista superior en 3D pueblo de Tangamandarino, laboratorio de suelos OAT



Fuente: Laboratorio LEAI, Politécnico Grancolombiano.

Como es un modelo 3D, el estudiante puede acercarse navegar por las diferentes áreas del municipio como lo muestra la figura 2. El botón naranja muestra los casos, sólo que al estudiante se le activa uno, el que le asigna el simulador.

**Figura 2.** Vistas del pueblo de Tangamandarino, laboratorio de suelos OAT



Fuente: Laboratorio LEAI, Politécnico Grancolombiano.

El estudiante visualiza el caso, además hay un personaje del pueblo que le narra la situación, encuentra todos los resultados del estudio de suelo, toda esta información la descarga para su análisis, lo que significa que se programó la generación de estos datos a través de una base de datos. Luego, el estudiante debe responder y diligenciar las diferentes preguntas para la construcción del informe.

Tanto el desarrollo en 3D se realizó en el software Maya, como los personajes, laboratorios y elementos del laboratorio. El desarrollo de la programación se realizó en unity, todo se integró para que sea de consulta y trabajo en línea siempre y cuando sea un usuario activo de la IUPG matriculado en el curso o módulo en el cual está activo el laboratorio. Con la versión alfa se hicieron pruebas con los autores y el equipo Q/A del laboratorio de experiencias inmersivas hasta obtener una versión beta. También se realizaron los materiales como guías, tutoriales de manejo, indicaciones para la entrega necesarias para toda una experiencia de aprendizaje.

## **Resultados obtenidos**

Durante el proceso se descubrieron variantes de éxito frente a las circunstancias simuladas, especialmente en el trabajo con datos aleatorios de los parámetros de resultados. En ellos las distribuciones de la data en los macronutrientes y micronutrientes son homologados en función del tipo de suelo y pH para representar con mayor objetividad el resultado que se obtendría en circunstancias reales, por ejemplo, el análisis del nitrógeno que tiene una distribución normal frente a una logarítmica del potasio. También fue muy importante determinar las funciones de los distintos tipos de suelos frente a su potencial de hidrogeno (pH), fundamental para entender la fertilidad de los suelos en Colombia y las capas de contenido de materia orgánica, esto se debe a los ecosistemas estratégicos como páramos y selvas húmedas muy abundantes en nuestro País.

Los equipos utilizados en el proceso de educación aprendizaje fueron el espectrofotómetro, fotocolorímetros, hornos, planchas de agitación, automatizados, tamices, basculas entre otros. En el contexto de los resultados, se muestran ambientes de control y de seguridad industrial, como el Scrubber que sirve para retirar los gases contaminantes de la digestión, que en ambientes físicos generan un gran problema en materia de seguridad salud en el trabajo.

Por ello en el laboratorio una de las ventajas es la capacidad de mostrar e interactuar con escenas que parecen realistas en condiciones de laboratorio bien controladas y seguras.

Algunos elementos del campo traídos a un ambiente virtual que se pueden destacar son la versatilidad en los distintos escenarios de los ecosistemas estratégicos, la percepción de los colores que varía de acuerdo con el estudiante y al ambiente de la toma de la muestra, si se realizara con diferentes lúmenes, o incidencia de la iluminación de la zona de toma.

Los impactos de la estrategia de simulación del laboratorio virtual de suelos se proyectan como una mejora significativa de los estudiantes en la percepción de pruebas de campo, al conocer los diferentes ecosistemas, que en físico requeriría mucho tiempo en el desplazamiento. En general, al examinar los laboratorios virtuales, se incluyeron parámetros y casos característicos en condiciones experimentales muy controlables que logran un espacio para la colaboración y el autoaprendizaje necesario para el desarrollo profesional de nuestro tiempo.

## **Conclusiones**

Para el laboratorio de suelos es fundamental relacionar algunas restricciones de percepción obtenidas en campo, que simuladas no se pudieron ampliar, como las características organolépticas relacionadas con el color, compacidad entre otros; también el petricor que no son perceptibles a través del ordenador. En presencial podemos reconocer en campo el humus que tiene un olor característico, estos se relacionan con suelos francos, o colores rojizos que se determinan con las gredas, y arcillas.

El desarrollo de este laboratorio fue una experiencia retadora al permitir repensar el proceso de la forma de educar, enseñar y aprender. Implicó profundizar en diversos temas y fuentes, así como desarrollar un mecanismo y metodología vivencial interactiva, inmersiva, llamativa, ordenada, lógica, coherente y concluyente. Este es un aspecto que normalmente no se da en la metodología tradicional de dar contenidos y modelos tradicionales.

Esta herramienta de aprendizaje desarrolla, fortalece y agudiza la capacidad de análisis, interpretación y correlación de los resultados de las diferentes variables. Por citar un ejemplo, la correlación directa que tiene el pH, la humedad y la

densidad de un suelo con la presencia o desarrollo de macro y micronutrientes y su potencial aprovechamiento.

Este tipo de laboratorio al ser transversal para varios módulos y materias puede representar una restricción en el desarrollo de los contenidos. El alcance de este tipo de laboratorios puede ser tan amplio y profundo como se necesite. Es necesario ajustarlo acorde a los tiempos de inmersión que se proponga para cada materia o módulo específico.

La estructura del laboratorio presenta retos individuales y colaborativos, lo cual permite el desarrollo de competencias blandas muy importantes, entre otras, trabajo en equipo, liderazgo e investigación, y duras como el manejo de tecnología y análisis de datos. Todas relevantes para un tecnólogo o profesional.

Las condiciones de aprendizaje en las simulaciones de los parámetros de laboratorio se adaptaron a casos reales, por tal motivo el estudiante interactúa de manera versátil y colaborativa con su entorno. También uno de los puntos críticos fue el flujo de la información para los modelos de datos de resultados, en nuestro caso se plantearon aleatoriamente para evitar la constante coincidencia con los trabajos de los demás. En pocas palabras, se crean como distintos retos que logran un flujo de información dinámico y sinérgico entre el tutor y el grupo de estudiantes, en congruencia con el liderazgo de nuestro pacto de honor Grancolombiano, donde la ética juega un papel crucial en el sistema de aprendizaje actual.

## Referencias bibliográficas

- Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Delgado, C., Quintana, P., Aguilar, D., Cejudo, R., & Cortés, J. L. (2021). *El color como indicador de contaminación por metales pesados en suelos de la Ciudad de México*. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 73(1), A210920. : <https://doi.org/10.18268/bsgm2021v73n1a210920>
- Benavides, L., & Medina, J. M. (2012). *Balance de Río + 20*. Tiempo de Paz, 105, 78–84.
- Bonilla-Molina, L. (2020). *Apagón pedagógico global y educación virtual en casa*. Cotidiano - Revista de La Realidad Mexicana, 35(221), 29–37.
- Casas Herrera, L., Gonzáles Flórez, D. M., Segura, B., Mosquera, R., & Dávila, E. (2018). *Diversidad y estructura de bosques contrastantes en la región del chocó-darién, Colombia* | Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Revista de Investigación

- Agraria y Ambiental , 9(2), 17–27. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2328/3881>
- Castro García Del Valle, C. (Sin fecha). *El Método de casos como estrategia de enseñanza-aprendizaje*. Consultoría Estratégica en Educación. Recuperado en: [http://sistemas2.dti.uaem.mx/evadocente/programa2/Agrop007\\_13/documentos/El\\_metodo\\_de\\_casos\\_como\\_estrategia\\_de\\_ensenanza.pdf](http://sistemas2.dti.uaem.mx/evadocente/programa2/Agrop007_13/documentos/El_metodo_de_casos_como_estrategia_de_ensenanza.pdf)
- Ciancaglini-Prosap, N. (2017). R-001-*Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*, 10. Recuperado de: [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO\\_R001\\_Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.pdf)
- Contreras Gelves, G. A., & Carreño Moreno, P. (2012). *Simuladores en el ámbito educativo: un recurso didáctico para la enseñanza*. Ingenium Revista De La Facultad De ingeniería, 13(25), 107–119. : <https://doi.org/10.21500/01247492.1313>
- Duymovich, C., & AchemDuymovich, C., Acheme, R., Sesini, S., & Mazziotta, D. (2005). (2005). *Espectrofotómetros y fotocolorímetros guía práctica de actualización*. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 39(4), 529–539.
- Gardner, E.A (1988). *Understanding Soils and Soil Data*. En: Soil Conservation Research Branch, Ed. Soil Water, Chapter 10, Soil Water ed., Queensland, USA, pp. 153-184.
- Gómez Giraldo, J.C. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Servicio Nacional De Aprendizaje (SENA) Regional Tolima. Recuperado en: [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas\\_campo\\_laboratorio\\_suelos.pdf;jsessionid=DABF5C579DACF691F3304734B90D377A?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf;jsessionid=DABF5C579DACF691F3304734B90D377A?sequence=1)
- Gruppen, L., Irby, D., Durning, S., & Maggio, L. (2019). *Conceptualizing learning environments in the health professions*. Academic Medicine, 94(7), 969-974. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000002702>
- Jarquín-Sánchez, A., Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Camacho-Chiu, W., & Guerrero-Peña, A. (2011). *Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) y quimiometría*. Agrociencia, 45(6), 653–662.
- López, N., Álzate, L., Echeverri, M., & Domínguez, A. (2021). *Práctica pedagógica y motivación desde el aprendizaje situado*. Tesis Psicológica, 16(1) 1-29. <https://doi.org/10.37511/tesis.v16n1a9>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Política Nacional Para La Gestión Integral Ambiental Del Suelo* (GIAS). Política Nacional Para La Gestión Integral Ambiental Del Suelo, 1, 138.
- Ministerio de Educación. (2019). *Decreto 1330*. Ministerio De Educación, 32. Recuperado de: <https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-387348>.

html?\_noredirect=1

Organización de Naciones Unidas (1992). *Cumbre de la tierra*. Rio de Janeiro

Sánchez, P. (2012). *Efectos del aluminio en la división y el alargamiento celular en plántulas de arroz* (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(1), 35–40.

USDA - Recursos Naturales, S. D. C. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Décima*. Recuperado de: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)

Varas-meza, H., Suárez-Amaya, W., López-Valenzuela, C., & Valdés-Montecinos, M. (2020). *Educación virtual: factores que influyen en su expansión en América Latina. Utopía y Praxis Latinoamericana*, 25, 21–40

White, A. K. and W. W. Metcalf. (2007). *Microbial metabolism of reduced phosphorus compounds*. *Annu Rev Microbiol*. 61: 379-400. Recuperado en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792013000400231](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000400231)

Yule, D.F. (1984). *In properties and utilisation of cracking clay soils. Volumetric calculations in cracking clay soils*. Ed. *Reviews in Rural Science*, Eds. J. W. Mcgarity, E. H. Houtl and H. B. So, No. 5, vol. 18, p. 87.



