

# Sistema de cómputo para estudios de degradación de suelos salinos

*Trabajo terminal No. \_ \_ \_*

*Alumnos: \*Fuentes Perez Ramsés<sup>1</sup>, \*\*Hernández Reséndiz Brandon Iván<sup>2</sup>*

*Directores: Hernández Rubio Erika, Muñoz Salazar Laura*

*e-mail: \*[rfuentespl300@alumno.ipn.mx](mailto:rfuentespl300@alumno.ipn.mx), \*\*[bhernandezr0904@alumno.ipn.mx](mailto:bhernandezr0904@alumno.ipn.mx)*

**Resumen:** La degradación de suelos por salinidad afecta 34.04 millones de hectáreas a nivel nacional, por lo que el estudio de este tipo de suelos es de gran importancia para la industria agropecuaria, sin embargo, estos estudios son costosos y tardados. Actualmente existen sistemas que permiten optimizar estos procesos mediante la monitorización remota o el uso de sensores, aunque la integración de estos se le deja al usuario, para abordar este problema se desarrollará un sistema que integre ambas soluciones empleando un sistema empotrado en conjunto con un servicio web de almacenamiento en la nube y una aplicación de escritorio.

**Palabras clave:** Instrumentación, sistema empotrado, monitorización remota, degradación de suelo

## 1. Introducción

En México la degradación química del suelo ocupa el primer lugar dentro de los 4 principales procesos de degradación estudiados por la SEMARNAT [1], afectando a 34.04 millones de hectáreas a nivel nacional, de las cuales 1.089 millones de hectáreas corresponden a procesos de salinización y alcalinización, concentrando su distribución en zonas áridas y semiáridas del país [2].

Los suelos se ven afectados debido al incremento en el contenido de sales en el suelo superficial, lo que genera una disminución en el rendimiento de los cultivos y el uso de sistemas de riego con altas concentraciones de sodio y otras sales, son una fuente potencial del problema.

Los estudios de salinidad en suelo tienen el riesgo de estar desactualizados en el momento de su consulta debido a que la salinidad y otras características del suelo son propiedades de naturaleza dinámica, es decir, su valor suele estar en constante cambio [4], por lo cual para llegar a tener información acertada y fiable es necesario hacer estudios y muestreos periódicos, lo que se puede ver impedido por las limitaciones económicas y/o temporales. Además la caracterización de estos suelos y la monitorización de los métodos de remediación de los mismos, se desarrollan de manera laboriosa, llegando incluso a tomar años. Los métodos tradicionales de prospección de suelo, que atienden una gran diversidad de problemas incluyendo la remediación ambiental [3], suelen requerir del uso de técnicas específicas y costosas como la magnetometría, la tomografía resistiva y la espectrometría, por mencionar algunas.

En los últimos años, debido al crecimiento del poder de cómputo, el aprendizaje automático y los sistemas empotrados, ha sido posible integrar estas tecnologías con la prospección de suelos a través de sistemas computacionales, modelos y tecnología de adquisición de datos. Los modelos son capaces de hacer predicciones. Los sistemas pueden generar mapas de zonas afectadas por alguna circunstancia a partir de grandes conjuntos de datos. Los sistemas empotrados ayudan al desarrollo de tecnología de adquisición de datos. A continuación se presentan algunos ejemplos.

Se han realizado estudios de correlación entre las grietas observables en un suelo árido o semiárido y su salinidad, donde se determinó la capacidad de medir la salinidad de un suelo por medio del estudio de imágenes de este, lo que da lugar al uso de sistemas de computación para realizar mediciones de salinidad [6]. Se realizó un estudio de mapeo de suelos salinos usando espectrometría de imagen con un radiómetro espacial de emisión térmica y reflexión en España [7]. Se hizo un mapa de la salinidad a nivel mundial mediante machine learning a partir de imágenes térmicas infrarrojas y un conjunto de datos ofrecidos por la WoSIS (World Soil Information Service) [3]. De forma similar se hizo una estimación de los índices de salinidad y humedad a partir de imágenes satelitales del Landsat 8, datos recolectados en estudios de campo y análisis llevados a cabo en laboratorios de ciertas zonas de Indonesia[4].

En el mercado existen sistemas que permiten tomar datos de sensores instalados en sitio y acceder a ellos remotamente así como los sensores para medir humedad, conductividad eléctrica y temperatura. El sistema AVO

y eTracker permiten tomar mediciones de múltiples sensores usando un conector generalizado y enviar estas mediciones a la nube, cuentan con almacenamiento físico y remoto para evitar la pérdida de datos y sistema para visualizar estos datos remotamente[8][9]. También se encuentra en el mercado el sensor HydraProbe que mide humedad, conductividad eléctrica y temperatura con un costo de alrededor de \$10,000 pesos mexicanos, sin embargo, no cuenta con un módulo para el acceso remoto a los datos [10].

Trabajos similares realizados como TT en ESCOM podemos encontrar los siguientes: Monitoreo de una Plantación de Caña mediante Percepción Remota y Ambianta2MX. En el primer TT se describe la realización de un sistema que, mediante la integración de módulos terrestres para tomar la temperatura y humedad y un dispositivo aéreo para capturar imágenes de una plantación de caña, permite reducir el tiempo en la toma de decisiones de los agricultores. En el TT Ambianta2MX se desarrolló una plataforma para integrar, estandarizar y facilitar el acceso a la información ambiental recabada por distintas instituciones como el INEGI.

Sistema	Características					Precio (MXN)
	Conectividad remota	Almacenamiento de respaldo	Sensor de humedad	Sensor de conductividad eléctrica	Sensor de temperatura	
AVO	✓	✓				-
eTracker	✓	✓				-
HydraProbe			✓	✓	✓	\$10,000.00
Monitoreo de una Plantación de Caña Mediante Percepción Remota			✓		✓	\$5,000.00
Propuesta	✓	✓	✓	✓	✓	2,100.00*

\* Costo aproximado por punto de muestreo en sitio

Tabla 1. Comparación de características entre proyectos similares

## Ventajas

El sistema propuesto integrará tanto la conectividad remota como los sensores para medir humedad, temperatura y conductividad eléctrica en cada punto de muestreo dado.

## 2. Objetivo

Desarrollar el prototipo de un sistema que mejore el proceso de determinación de degradación de suelos por salinidad permitiendo monitorizar su estado de manera remota durante procesos de remediación y estudios de salinidad en suelo.

Para lograr lo mencionado se tienen contemplados los siguientes objetivos particulares:

- Diseñar, construir y validar un sistema empujado que integre 3 sensores encargados de medir la salinidad (conductividad eléctrica), humedad y temperatura de forma continua en un punto del sitio donde se realiza el muestreo.
- Incorporar al sistema empujado un módulo transmisor para enviar a la nube vía internet los datos recolectados.
- Diseñar, construir y validar una aplicación de escritorio que permita visualizar los datos geográficamente referenciados y generar reportes de estos mismos.

### 3. Justificación

El acceso a la información sobre el estado del suelo destinado a la agricultura, es de gran importancia en lo que a los niveles de salinidad se refiere [4]. Esto debido a que un exceso de sal suele deteriorar los suelos hasta el punto en que pierden por completo su capacidad de producción teniendo como consecuencia su abandono [11].

Según datos del INEGI, la extensión del territorio nacional utilizado en agricultura de riego asciende a los 102,352.80m<sup>2</sup>, de los cuales la mayor parte se encuentran al norte de la república, pero sin dejar de estar presentes en la mayoría de las entidades [12]. Lo anterior nos dice que dicha extensión territorial se encuentra en riesgo de sufrir afectaciones por la salinidad como resultado del riego, atribuyendo como la principal causa las malas prácticas de irrigación, la falta del drenaje adecuado en los cultivos y el uso de agroquímicos. Un balance en las concentraciones de las sales en los suelos permite extender el tiempo útil de producción, evitando así el aumento del territorio destinado a la agricultura y por ende la destrucción de ecosistemas en torno a este.

La remediación de suelos degradados por salinidad requiere de procesos costosos y tardados, es por esta razón que se busca optimizar dicha metodología a través de la aplicación de técnicas de sondeo eléctrico vertical e instrumentación electrónica, para la obtención de información de manera directa y en tiempo real del estado del suelo. El sistema integrará en una aplicación de escritorio, con almacenamiento en la nube las soluciones ya existentes en el mercado que son la conectividad remota y la medición en sitio de la humedad, temperatura y conductividad eléctrica.

Para realizar este proyecto se requiere de un alto grado de conocimiento en el desarrollo de sistemas empotrados e instrumentación, así como los conocimientos fundamentales de bases de datos, sistemas web y desarrollo de aplicaciones de escritorio. Se requiere desarrollar un sistema encargado de enviar los datos obtenidos por los sensores a través de un módulo de comunicación celular, una API web que permita acceder a una base de datos en la nube y finalmente una aplicación de escritorio para el despliegue de la información en una interfaz gráfica.

### 4. Productos o resultados esperados

1. **Sistema de cómputo para estudios de degradación de suelos salinos**
  - a. Pruebas de validación y confiabilidad del sistema
2. **Sistema empotrado (medición de temperatura, humedad y conductividad eléctrica)**
  - a. Código fuente
  - b. Documentación de código fuente
  - c. Diagrama eléctrico del sistema
  - d. Diseño de placa PCB y carcasa del sistema
  - e. Manual de ensamble y de uso
  - f. Pruebas de validación y confiabilidad
3. **Servicio WEB**
  - a. Código fuente
  - b. Documentación de código fuente
4. **Aplicación de escritorio**
  - a. Código fuente
  - b. Documentación de código fuente
  - c. Manual de instalación y de uso
  - d. Pruebas de validación y confiabilidad

En la Figura 1 se muestra la arquitectura del sistema, este consiste en 3 módulos, el sistema de monitoreo remoto que integra 1 sensor de humedad, 1 sensor de temperatura y 1 sensor de conductividad eléctrica, haciendo uso de la tecnología celular se conecta a un servicio web de base de datos en la nube para almacenar sus mediciones periódicamente, por otro lado se tiene un cliente de escritorio que realizará el procesamiento de los datos y permitirá visualizarlos, es importante tener un cliente de escritorio ya que el sistema será desplegado en un ambiente de laboratorio con necesidades específicas, además, permite que como trabajo a futuro el sistema sea extendido integrando un nuevo módulo que permite conectar instrumentos de laboratorio al sistema de escritorio y capturar automáticamente las mediciones de este.

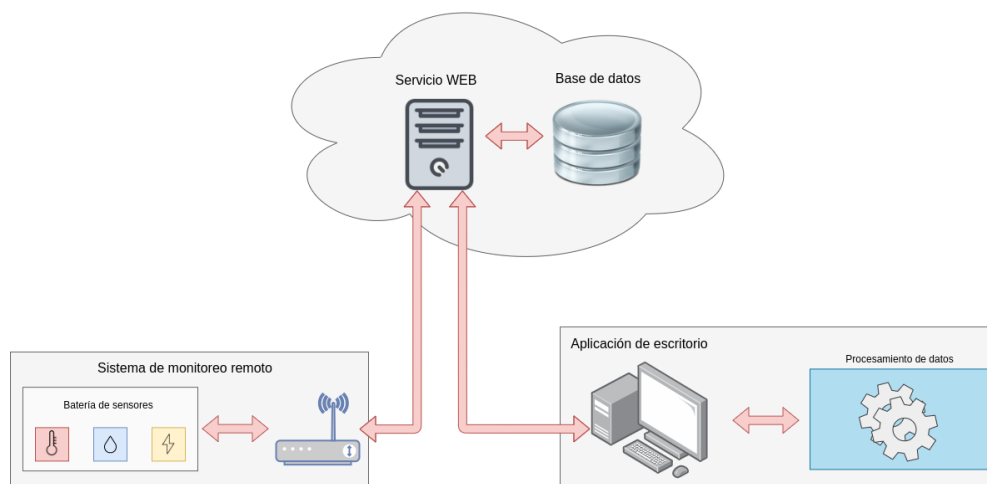


Figura 1. Diagrama de arquitectura del sistema.

## 5. Metodología

El proyecto se desarrollará bajo el modelo de proceso incremental debido a que este se divide en tres productos principales, el sistema empujado, el servicio web y la aplicación de escritorio, y para cada uno de estos se requiere llevar a cabo pruebas unitarias y posteriormente pruebas de integración. Además este modelo de proceso permite al equipo abordar el desarrollo de las actividades que integran cada fase del proceso de forma concurrente. En el primer incremento se obtiene el sistema empujado de tres sensores con conectividad a internet, en el segundo incremento se obtiene el servicio web, para el tercer incremento se desarrolla la aplicación de escritorio y finalmente el cuarto incremento corresponde al despliegue.

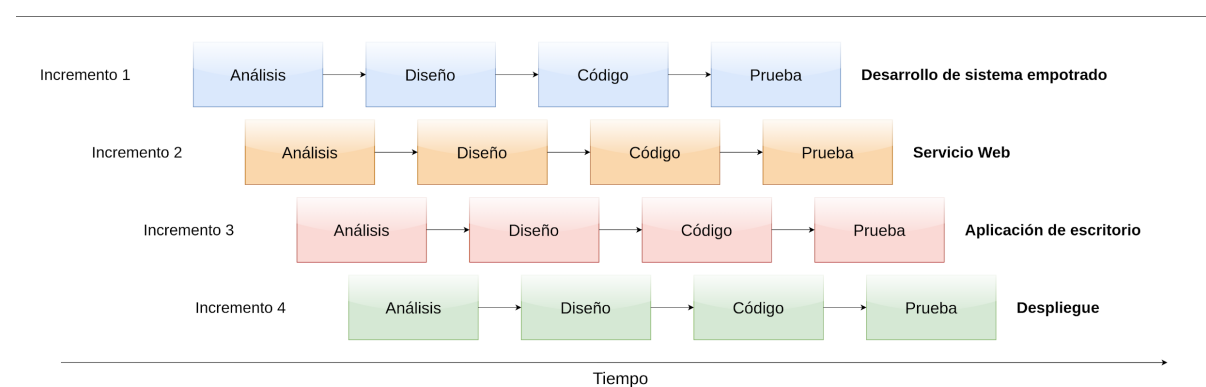


Figura 2. Diagrama de la metodología a usar

## 6. Cronograma

Hernández Reséndiz Brandon Iván																																																	
feb.-2021					mar.-2021					abr.-2021					may.-2021					jun.-2021					jul.-2021					ago.-2021					sep.-2021					oct.-2021					nov.-2021				
1	8	15	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29						
Análisis			1.1	1.2				1.4	1.5	2.1	2.2							3.1	3.2																														
Diseño					1.3						2.1	2.2							3.2																														
Código													2.3								3.3	3.3	3.4	3.4																									
Pruebas														2.4											3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7																
Documento															2.5	1.14	5																	3.8	4.10	4.10	6	6	6	6	6	6	6	7					

Fuentes Perez Ramsés																																																				
feb.-2021					mar.-2021					abr.-2021					may.-2021					jun.-2021					jul.-2021					ago.-2021					sep.-2021					oct.-2021					nov.-2021							
1	8	15	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29									
Análisis			1.1	1.2				1.4	1.5									4.1	4.2																																	
Diseño					1.3																4.1	4.2																														
Código										1.6	1.7	1.8												4.3	4.4																											
Pruebas											1.9	1.10	1.11	1.12	1.13										4.5	4.6																										
Documento															5												4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.10	4.10	4.10	4.10	6	6	6	6	6	6	6	7								

Figura 3. Cronograma

Actividad	ID
<b>Desarrollo de sistema empotrado</b>	<b>1</b>
Analisis para la selección de sensores de humedad, temperatura y salinidad.	1.1
Analisis para la selección de microcontrolador a utilizar	1.2
Análisis y diseño del sistema empotrado	1.3
Selección del modem celular para el envío de datos.	1.4
Selección biblioteca de control del módem celular.	1.5
Construcción circuito de pruebas para la conexión de los sensores al microcontrolador.	1.6
Implementación de las rutinas para la captura de datos de los sensores.	1.7
Implementación un proceso de monitorización continua.	1.8
Pruebas unitarias de las rutinas de captura de datos.	1.9
Pruebas del proceso de monitorización continua.	1.10
Pruebas de integración con el servicio web (en orden va después del siguiente punto).	1.11
Integración del envío de datos a la rutina de captura de datos con el módem celular.	1.12
Integración del circuito de conexión entre el microcontrolador y el módem celular.	1.13
Redacción de la sección en el documento.	1.14
<b>Servicio Web</b>	<b>2</b>
Análisis y diseño de la base de datos.	2.1
Análisis y diseño del servicio web de acceso.	2.2
Implementación del servicio web para el acceso a la base datos.	2.3
Pruebas unitarias del servicio.	2.4
Redacción de la sección en el documento.	2.5
<b>Aplicación de escritorio</b>	<b>3</b>
Análisis de requerimientos para el reporte de datos.	3.1
Análisis y diseño de la aplicación de escritorio.	3.2
Programación de los casos de uso.	3.3
Programación de las vistas. Integración entre los casos de uso y las vistas.	3.4
Pruebas unitarias de los casos de uso.	3.5
Pruebas de integración de la aplicación de escritorio.	3.6
Pruebas de integración del sistema.	3.7
Redacción de la sección en el documento.	3.8
<b>Despliegue</b>	<b>4</b>
Diseño de la placa para el circuito integrado del sistema empotrado.	4.1
Diseño de la carcasa para el sistema empotrado..	4.2
Construcción de la placa PCB para el sistema empotrado.	4.3
Construcción de la carcasa para el sistema empotrado.	4.4
Pruebas de la placa PCB para el sistema empotrado.	4.5
Pruebas del sistema en campo.	4.6
Redeaccion de la seccion en el documento.	4.7
Generación de manuales técnicos.	4.8
Genetación de manuales de usuario.	4.9
Revisión de la documentación.	4.10
<b>Presentación de TTI</b>	<b>5</b>
<b>Tiempo de holgura para reducción de riesgos</b>	<b>6</b>
<b>Presentación de TTII</b>	<b>7</b>

Tabla 2. Actividades del proyecto.

## 7. Referencias

- [1] Ortiz, Carlos & Segura-Castruita, Miguel & Sánchez-Guzmán, P. & Moreno-Caliz, E. & Echevarria-Hernández, J. & Iira-Quintero, Ma & López-Ramírez, Gabriela & Cruz-Cárdenas, Gustavo & Islas-López, A. & Ramos-Méndez, C. & Segura-Castruita, I. & Gutiérrez-Castorena, Ma. Del Carmen & Hernández-Ramírez, Patricia. (2002). SEMARNAT-CP. 2003. Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. Memoria Nacional.
- [2] SEMARNAT (2002). Suelos [Online]. Disponible:  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap3\\_suelos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf)
- [3] Everett, Mark E., Near-surface applied geophysics (2013)
- [4] Konstantin Ivushkin, Harm Bartholomeus, Arnold K. Bregt, Alim Pulatov, Bas Kempen, Luis de Sousa, Global mapping of soil salinity change, Remote Sensing of Environment, Volume 231, 2019.
- [5] Ghazali, Mochamad & Wikantika, Ketut & Harto, Agung & Kondoh, Akihiko. (2019). Generating Soil Salinity, Soil Moisture, Soil pH from Satellite Imagery and Its Analysis. Information Processing in Agriculture.
- [6] Jianhua Ren, Xiaojie Li, Kai Zhao, Bolin Fu, Tao Jiang, Study of an on-line measurement method for the salt parameters of soda-saline soils based on the texture features of cracks, Geoderma, Volume 263, 2016, Pages 60-69.
- [7] I. Melendez-Pastor, J. Navarro-Pedreño, M. Koch, I. Gómez, Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images, Geoderma, Volume 158, Issues 1–2, 2010, Pages 55-65.
- [8] Stevens Water Monitoring Systems Inc., Avo Datasheet (2019) Portland Oregon, USA
- [9] Stevens Water Monitoring Systems Inc., eTracker Datasheet (2019) Portland Oregon, USA
- [10] Stevens Water Monitoring Systems Inc., HydraProbe Soil sensor, user manual (2018) Portland Oregon, USA
- [11] R.J. Oosterbaan (2003), Soil salinity
- [12] INEGI. Continuo Nacional de Uso del Suelo y Vegetación 1:250,000 Serie VI, 2014. INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, 2017.

## 8. Alumnos y directores

*Rámses Fuentes Perez.-* Alumno  
de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en  
ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014020442 , Tel.  
55 75 34 14 70, email [rfuentespl300@alumno.ipn.mx](mailto:rfuentespl300@alumno.ipn.mx)

ACUSE DE RECIBIDO

*Brandon Iván Hernández Reséndiz.-* Alumno  
de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en  
ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2018630101, Tel.  
55 44 53 43 52, email [bhernandezr0904@alumno.ipn.mx](mailto:bhernandezr0904@alumno.ipn.mx)

ACUSE DE RECIBIDO

*Erika Hernández Rubio.-* Maestría en Ciencias de la Computación CIC-IPN,  
Licenciatura en Ciencias de la Informática UPIICSA-IPN,  
Áreas de Interés: Base de datos, minería de datos y cómputo móvil.  
Tel. 57296000 EXT 52061, email [ehernandezru@ipn.mx](mailto:ehernandezru@ipn.mx)

ACUSE DE RECIBIDO

*Laura Muñoz Salazar.-* Maestría en Física de Partículas Subatómicas IFUG- UG  
Licenciatura en Física, FCFM-BUAP  
Áreas de Interés: Simulación y modelación de fenómenos de transporte y sistemas  
complejos.  
Tel. 57296000 EXT 52042, email [lmunozs@ipn.mx](mailto:lmunozs@ipn.mx)

ACUSE DE RECIBIDO

CARÁCTER: Confidencial  
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos  
108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso  
a la Información Pública.  
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

## Confirmación de colaboración en TT



Brandon Ivan Hernandez Resendiz

Lun 09/11/2020 8:46

Para: Ramses Fuentes Perez



Buenos días compañero Ramsés,  
te contacto por este medio para confirmar tu colaboración en el trabajo terminal titulado "Sistema de cómputo para estudios de degradación de suelos salinos", de acuerdo a las actividades definidas en el cronograma del Protocolo de Trabajo Terminal próximo a enviar.

De estar conforme espero tu pronta respuesta y agradeciendo de antemano tu atención me despido.

Brandon Iván Hernández Reséndiz alumno de 7mo semestre de la ESCOM



Ramses Fuentes Perez

Lun 09/11/2020 10:07

Para: Brandon Ivan Hernandez Resendiz



Confirmando mi participación en el trabajo terminal y me comprometo cabalmente a cumplir con los objetivos establecidos para el proyecto

Enviado desde [Correo](#) para Windows 10

...

Muchas gracias por su participación.   Gracias por su participación.   Gracias por participar.

¿Las sugerencias anteriores son útiles?   Sí   No

Responder   Reenviar

## Petición de dirección de Trabajo Terminal



Brandon Ivan Hernandez Resendiz

Mié 04/11/2020 16:31

Para: Laura Munoz Salazar



Mtra. Laura Muñoz Salazar

PRESENTE

Por medio de la presente hacemos de su conocimiento nuestro deseo por contar con su apoyo en la dirección de nuestro trabajo terminal titulado "Sistema de cómputo para estudios de degradación de suelos salinos" como parte de nuestra trayectoria académica y proceso de titulación de la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, con la certeza de que su orientación será de gran valor para el desarrollo y conclusión efectiva de nuestro trabajo.

Agradecemos de antemano el apoyo prestado a la presente petición y quedamos al pendiente por cualquier duda o comentario generado de la misma solicitud. Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente:

Ramsés Fuentes Pérez  
Brandon Iván Hernández Reséndiz

Alumnos de 7mo semestre de la ESCOM



Laura Munoz Salazar

Jue 05/11/2020 11:27

Para: Brandon Ivan Hernandez Resendiz



Muchas gracias por la invitación y será un gusto apoyarles para que su trabajo llegue a buen término y sea exitoso y relevante.

Laura Muñoz Salazar.

...

Muchas gracias por sus palabras.   Muchas gracias.   ¡Mil gracias!

¿Las sugerencias anteriores son útiles?   Sí   No

Responder   Reenviar



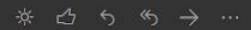
## Petición de dirección de Trabajo Terminal



Brandon Ivan Hernandez Resendiz

Mié 04/11/2020 16:30

Para: Erika Hernandez Rubio



Mtra. Erika Hernández Rubio

PRESENTE

Por medio de la presente hacemos de su conocimiento nuestro deseo por contar con su apoyo en la dirección de nuestro trabajo terminal titulado "Sistema de cómputo para estudios de degradación de suelos salinos" como parte de nuestra trayectoria académica y proceso de titulación de la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, con la certeza de que su orientación será de gran valor para el desarrollo y conclusión efectiva de nuestro trabajo.

Agradecemos de antemano el apoyo prestado a la presente petición y quedamos al pendiente por cualquier duda o comentario generado de la misma solicitud. Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente:

Ramsés Fuentes Pérez

Brandon Iván Hernández Reséndiz

Alumnos de 7mo semestre de la ESCOM



Erika Hernandez Rubio

Jue 05/11/2020 23:32

Para: Brandon Ivan Hernandez Resendiz



Confirmo de recibido y doy el visto bueno como directora del TT.

M. en C. Erika Hernández Rubio.  
Profesora de la SEPI-ESCOM  
ehernandezru@ipn.mx  
57296000 ext. 52038

...

Muchas gracias.

¡Mil gracias!

Gracias por confirmar.

☐ ¿Las sugerencias anteriores son útiles? ☐ Sí ☐ No

Responder

Reenviar