

Diagnóstico de la red de estaciones meteorológicas automáticas de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica

Kendall Ugalde Castro¹

<https://orcid.org/0000-0002-9762-9811>

Ugalde Castro, K. (2024) “Diagnóstico de la red de estaciones meteorológicas automáticas de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.”. *Campo Universitario*. 5 (9) Enero - Junio 2024. Pp. 1-20.

Fecha de recepción: 08/05/2024

Fecha de aceptación: 19/06/2024

Resumen. La Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica (UNED) cuenta con 22 estaciones meteorológicas automáticas (EMA) ubicadas en varias de sus sedes regionales, actualmente el equipo se encuentra operativo y recolectando datos. Durante el año 2022 se realizaron visitas a cada EMA perteneciente a la UNED para realizar un diagnóstico que permitiera verificar si las EMA y sus sensores de medición cumplen con los requisitos de emplazamiento establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Además, se realizaron labores de mantenimiento al equipo y se instruyó al personal encargado. Se estimó que el emplazamiento actual del equipo es inadecuado, ya que ninguna EMA cumple con todos los requisitos recomendados, los principales problemas detectados fueron que las EMA se encuentran muy cerca de obstáculos que inducen incertidumbre en la medición de vientos, existen muchas zonas de concreto que alteran el flujo de calor y por ende las mediciones de humedad relativa y temperatura y algunas edificaciones son muy altas o están muy cerca del equipo afectando mediciones de radiación al formar sombras sobre los sensores. Asimismo, la falta de mantenimiento ocasionó el deterioro del equipo, lo que se evidenció en las visitas. Es necesario que la UNED aplique medidas para mejorar emplazamiento de las EMA como elevar las veletas a mayor altura y trasladar el equipo a lugares donde se minimice la presencia de obstáculos que induzcan incertidumbres, además de asegurarse de realizar labores de mantenimiento con mayor frecuencia.

¹ Universidad Estatal a Distancia, Cátedra de Física para Ingenierías, Costa Rica. Contacto: kugaldec@uned.ac.cr

Palabras clave: Fiabilidad de datos meteorológicos, estación meteorológica automática, condiciones de emplazamiento, Organización Meteorológica Mundial, sedes regionales de la UNED.

Abstract. The Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica (UNED) has 22 automatic weather stations (AWS) located in various regional campuses, which are currently operational and collecting data. During 2022, visits were made to each AWS belonging to UNED to conduct a diagnostic assessment to verify if the AWS and their measurement sensors meet the siting requirements established by the World Meteorological Organization (WMO). Additionally, maintenance work was carried out on the equipment and the responsible personnel were instructed. It was estimated that the current siting of the equipment is inadequate, as none of the AWS meet all the recommended requirements. The main problems detected were that the AWS are too close to obstacles that induce uncertainty in wind measurements, there are many concrete areas that alter heat flow and therefore the measurements of relative humidity and temperature, and some buildings are too tall or too close to the equipment, affecting radiation measurements by casting shadows on the sensors. Furthermore, the lack of maintenance caused equipment deterioration, which was evident during the visits. It is necessary for UNED to implement measures to improve the siting of the AWS, such as raising the anemometers to a greater height and relocating the equipment to places where the presence of obstacles that induce uncertainties is minimized, in addition to ensuring more frequent maintenance work.

Keywords: Reliability of meteorological data, automatic meteorological station, site conditions, World Meteorological Organization, UNED regional headquarters.

Introducción

Una estación meteorológica se trata de un conjunto de instrumentos y sensores colocados en un lugar fijo donde se realizan observaciones y mediciones de diversos parámetros meteorológicos, esto con el fin de registrar y caracterizar el comportamiento atmosférico de la zona (López-Jiménez, 2014). El registro de variables climáticas se inició con estaciones meteorológicas que en la actualidad se clasifican como convencionales en las cuales es necesario la intervención de observadores, sin embargo, con el avance tecnológico las estaciones se han automatizado, siendo capaz de realizar los registros por su cuenta y compartir los datos de manera mucho más eficiente sin intervención de un observador, lo que ha permitido la recolección de información climática en zonas de difícil acceso en tiempo real (Ureña-Elizondo, 2011).

A pesar de que Costa Rica es un país pequeño su sistema climático es complejo debido a sus condiciones geográficas. El país está ubicado en un istmo en medio del Océano Pacífico y el Mar Caribe, tiene un amplio sistema de cordilleras que dividen el territorio y es afectado por diversos patrones de vientos, lo que confieren un clima propio a la vertiente Caribe del país y otro a la vertiente Pacífico según regímenes de precipitación (Durán-Quesada et al., 2020; Maldonado et al., 2018). El Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (2008) clasifica seis grandes regiones climáticas sobre todo Costa Rica, las cuales son: Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Región Central, Zona Norte y Caribe, aunque esta última se divide usualmente en Caribe Norte y Caribe Sur.



Por lo que es necesario destacar la importancia de poseer una robusta red de estaciones meteorológicas en todo el país para el estudiar el complejo clima de Costa Rica.

El IMN es el ente científico encargado de todas las actividades meteorológicas en Costa Rica, de modo que tiene la mayor red de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) a lo largo del país con las que se encarga del estudio climático a nivel nacional. Por otro lado, la Universidad Estatal a Distancia (UNED) de Costa Rica ha adquirido e instalado en varias de sus sedes universitarias un total de 22 EMA que logran cubrir gran parte del territorio nacional e iniciaron la recolección de datos en el 2021.

Como mencionó Rodríguez (2021) para una estación meteorológica convencional es necesario realizar con frecuencia visitas de inspección que garanticen el correcto funcionamiento de los sensores y la calidad de las observaciones. Como todo instrumento existe un desgaste con el tiempo, es necesario realizar visitas de mantenimiento en el equipo o para supervisarlos, además en estas también se revisa que el entorno en que se encuentra la estación sea adecuado para la toma de datos. A pesar de que los procesos de una EMA están en gran medida automatizados también es necesario personal encargado de las labores de mantenimiento y control de calidad sobre los datos recolectados (Basualdo et al., 2015). Es importante destacar que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda una serie de pautas que debe tener el emplazamiento en que se ubique cualquier estación meteorológica, esto para asegurar la fiabilidad de los datos recolectados y minimizar la incertidumbre en sus mediciones (OMM, 2014, 2017).

A partir de esto, se buscó información y no se encontró ninguna evidencia sobre labores de monitoreo, mantenimiento y seguimiento de la red meteorológica de la UNED que compruebe si sus EMA cumplen con los requisitos de la OMM. El objetivo de esta investigación es evaluar y diagnosticar el estado actual del emplazamiento de las EMA pertenecientes a la red meteorológica de la UNED, esto mediante una serie de visitas de inspección realizada a las sedes universitarias, además se aprovechó para realizar mantenimiento al equipo y para instruir al personal encargado del cuidado de las EMA.

Metodología

Para llevar a cabo el diagnóstico del estado actual de cada EMA fue necesario visitar las sedes universitarias de la UNED donde se dispusiera equipo meteorológico instalado, en total fueron visitadas 21 sedes de la universidad de las 22 que cuentan con una EMA. En la Tabla 1 se muestra la localización, altitud e inicio de registro de datos de las 21 EMA visitadas según las regiones climáticas de Costa Rica.

Tabla 1. Localización de cada EMA perteneciente a la red meteorológica de la UNED.

Región climática	Nombre de la EMA (Sede)	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)	Altitud (m.s.n.m)	Inicio de registros
Pacífico Norte	Cañas	10.4378	-85.0936	130	31-07-2021
	La Cruz	11.0691	-85.6276	224	30-11-2021
	Liberia	10.6202	-85.4516	135	10-06-2021
	Nicoya	10.1405	-85.4514	133	04-09-2021
	Puntarenas	9.9811	-84.8136	9	06-03-2022



	Santa Cruz	10.2567	-85.5827	59	27-07-2021
Pacífico Central	San Marcos	9.6746	-84.0178	1636	19-03-2021
Pacífico Sur	Ciudad Neily	8.6530	-82.9435	69	19-11-2021
	Pérez Zeledón	9.3508	-83.6834	680	03-12-2021
	San Vito	8.8225	-82.9668	974	11-11-2021
Central	Alajuela	10.0136	-84.2227	923	01-11-2021
	Cartago	9.8555	-83.9188	1408	09-08-2021
	Heredia	10.0072	-84.125	1154	19-11-2021
	Palmares	10.0611	-84.4361	1041	26-09-2021
	Sabanilla	9.9411	-84.0480	1209	23-09-2021
	San José	9.9337	-84.0621	1192	16-08-2021
Zona Norte	CITTED	10.4552	-84.5338	75	19-03-2021
	Los Chiles	10.8355	-84.6196	70	28-02-2021
	San Carlos	10.3247	-84.4285	645	24-11-2021
	Upala	10.8985	-85.0239	55	10-02-2021
Caribe	Limón	9.9836	-83.0702	54	06-11-2021

Durante la inspección a cada EMA lo primero que se hizo fue verificar su emplazamiento, ya que es importante que la EMA se ubique en una zona donde no se vean afectadas las mediciones de las variables climáticas, la OMM indica una serie de requisitos que debe cumplir el espacio en el que se emplazara una estación, además de una lista que permita identificar las EMA.

Información de identificación de una EMA

Es importante destacar que toda estación meteorológica en funcionamiento debe estar debidamente identificada, de manera que cualquier usuario que disponga de los datos recolectados por la misma pueda conocer las condiciones en que se tomaron las variables climáticas, además, es necesario mantener un registro de cualquier cambio que sufra la estación a lo largo de su ciclo operativo, como puede ser un desplazamiento de su localización o sustitución de algún sensor dañado. La OMM (2017) recomienda mantener una lista de información para cada estación meteorológica de la que disponga una institución, como la siguiente:

- Nombre e indicativo de la estación.
- Coordenadas geográficas de la localización de la estación, latitud y longitud.
- Altitud de la estación en metros sobre el nivel del mar.
- Categoría de la estación meteorológica (en caso de la red meteorológica de la UNED se tratan de EMA en tierra).
- Breve descripción de la situación topográfica.
- Información sobre la exposición de los instrumentos, particularmente la altura sobre el terreno de los termómetros, pluviómetros y anemómetros.
- Antecedentes históricos de la estación (fecha de inicio de las observaciones periódicas, interrupción de las observaciones, mantenimiento, remplazo de sensores, ubicaciones anteriores...).
- Nombre de la institución supervisora.



Esta información se obtuvo durante la visita a cada EMA observando las condiciones del entorno donde encontraba el equipo y realizando consultas a los respectivos encargados.

Requisitos del emplazamiento de una EMA

La OMM (2017) recomienda que el emplazamiento de una estación meteorológica sea característico de las condiciones geográficas de la región y que se encuentre en una zona abierta alejada de cualquier tipo de actividad industrial, además de que cualquier obstáculo como edificaciones o árboles se encuentren a distancias de 10 a 20 veces mayores que sus respectivas alturas y a unos 100 m de cualquier masa de agua de dimensiones considerables, a excepción de que se trate de un sitio costero. Es recomendable que el suelo de la zona de emplazamiento se mantenga en estado natural y la hierba no debe crecer más de 20 cm. También en otro reporte, la OMM (2014) detalla una serie de pautas que deben seguir los sensores específicos de cada estación meteorológica, estas se dividen en 5 clases, donde la clase 1 serían las pautas óptimas para minimizar las incertidumbres, mientras que en las clases 2, 3, 4 y 5 existirá algún nivel de incertidumbre en la medida realizada por el sensor. Para las EMA de la UNED es difícil alcanzar el estándar de clase 1, por lo tanto, a continuación, se describirán los requisitos para la clase 2 y en ocasiones los de clase 3.

Sensores de temperatura y humedad del aire:

Los requisitos de un emplazamiento de clase 2 puede inducir incertidumbres inferiores a 1°C, mientras los de clase 3 de hasta 1°C. Para la clase 2 se recomienda:

- Ubicar los sensores a una altura de entre 1.25 y 2 m, en un terreno plano con pendientes cercanas inferiores a los 19°.
- El suelo bajo los sensores debe ser vegetación natural de altura inferior a los 10 cm.
- Colocarlos a 30 m (10 m para clase 3) de posibles fuentes de calor, superficies reflectantes (edificios, parqueos, superficies de hormigón) o extensiones de agua (a menos que estas sean representativas de la región).
- Mantenerlos fuera del alcance de proyección de sombras cuando el sol supera una elevación de 7°.

Precipitación:

Los requisitos para la clase 2 pueden inducir incertidumbres porcentuales de hasta 5%, mientras las de clase 3 de hasta un 15%. Para la clase 2 se recomienda:



- Contar con una garita protectora u obstáculos que eviten incertidumbres por vientos intensos.
- Ubicar el sensor en terreno plano, horizontal, rodeado de espacios abiertos, donde cualquier obstáculo se encuentre a distancias de unas 2 veces (1 vez para la clase 3) la altura sobre el nivel del pluviómetro.

Vientos superficiales:

Los sensores de los vientos superficiales son necesarios estar colocados a alturas de 10 m para las clases 1-3, en el caso de la UNED los sensores se encuentran a 2 m por tanto solo se aplica la clase 4 con incertidumbres superiores al 50% cuyos requisitos son:

- El mástil con los sensores se sitúa a distancias de 2.5 veces la altura de cualquier obstáculo circundante.
- Dentro de un radio de 40 m, no hay obstáculos con anchuras angulares superiores a los 60° y una altura mayor de 10 m.

Radiación solar:

Para medidas adecuadas de radiación solar la OMM (2014) recomienda para la clase 2 que no se proyecten sombras sobre los sensores cuando el sol ha alcanzado elevaciones de 5°, cuanto mayor sea el ángulo de inclinación respecto a los obstáculos cercanos mayor serán las incertidumbres inducidas.

Con base en la información anterior se generó una lista de chequeo y durante la visita de inspección a cada EMA de la UNED se verificó visualmente el lugar en que se encuentra la EMA y los obstáculos a su alrededor para confirmar si se cumplen los aspectos de la lista, no se realizaron mediciones precisas, ya que la mayoría de obstáculos que pueden afectar los distintos parámetros climáticos se encontraban a pocos metros de los sensores resultando en emplazamientos inadecuados en muchas de las EMA. En la Tabla 2 se muestra la lista de chequeo usada para verificar el emplazamiento cumple o no los requisitos de cada sensor.

Tabla 2. Lista de chequeo usada para evaluar la condición del emplazamiento de cada sensor.

Sensor	Condición de emplazamiento
Temperatura y humedad	a. Los sensores se encuentran a una altura de entre 1.25 y 2.0 m sobre el suelo.
	b. El sitio de emplazamiento es plano sin pendientes pronunciadas.
	c. La EMA se ubica sobre césped corto de máximo 10 cm de altura.
	d. Los sensores están alejados a 30 m de fuentes de calor como parques o edificios de concreto.
Precipitación	e. El pluviómetro cuenta con una garita que bloquea vientos que eviten que la precipitación alcance el embudo.
	f. La EMA se ubica a una distancia de al menos 2 veces la diferencia de altura del pluviómetro y el obstáculo.
	g. Los sensores se encuentran a una altura de 10 m sobre el nivel del suelo.



Vientos superficiales	h. En un radio de 40 m no hay obstáculos de 10 m de altura o de anchuras de 60°.
Radiación	i. No existen obstáculos cercanos que puedan generar sombras sobre el sensor u obstáculos lejanos que puedan generar sombras en horas de la mañana o de la tarde.

Una vez examinado el sitio del emplazamiento de la EMA se procedió a revisar el estado de sus sensores. Todas las EMA que posee la UNED fueron adquiridas en Davis Instruments y son del modelo *Davis Vantage Pro 2*, se trata de un Módulo Integrado de Sensores (ISS por sus siglas en inglés), esto significa que todos los sensores que constituyen la EMA se encuentran conectados a una misma placa de procesamiento, este modelo mide temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación, presión atmosférica, radiación solar y radiación ultravioleta, en la Figura 1 se aprecia la EMA ubicada en la sede universitaria de Los Chiles.



Figura 1. Emplazamiento de la EMA en la sede universitaria Los Chiles perteneciente a la red meteorológica de la UNED.

Una vez examinadas las condiciones de los sensores de la EMA se procedió a realizar las labores de mantenimiento recomendadas por Davis Instruments (2014) y cuando fue posible se instruyó verbalmente en el sitio al personal encargado de la EMA en la sede para que sean ellos quienes lleven a cabo estas labores. Se recomendó:

- Abrir la caja protectora de conexión de sensores y verificar que no existan obstrucciones, si se encuentra algo perjudicial para el equipo se debe extraer y realizar una limpieza alrededor de la placa de sensores.
- Revisar y limpiar el pluviómetro, primero es necesario revisar que el embudo no mantenga ningún tipo de obstrucción, posteriormente este se retira con cuidado para limpiarlo y revisar el balancín, si se encuentra sucio o con obstrucciones se limpia con cuidado evitando moverlo.
- Es necesario realizar una limpieza general sobre todos los componentes de la EMA, especialmente sobre el escudo protector de radiación de los sensores de humedad y

temperatura, las aberturas de los sensores de radiación se deben limpiar con un paño limpio humedecido con alcohol.

- Visualmente revisar que la veleta y las cazoletas del anemómetro se mueven correctamente, si no fuera así se debe realizar una limpieza en los mismos.
- Finalmente, se debe verificar el funcionamiento de las baterías y si fuera el caso reemplazarlas.

Es importante realizar el mantenimiento con el equipo apagado (consola) para evitar la detección de datos erróneos. En la Figura 2 se aprecia cada componente de la EMA *Davis Vantage Pro 2*.

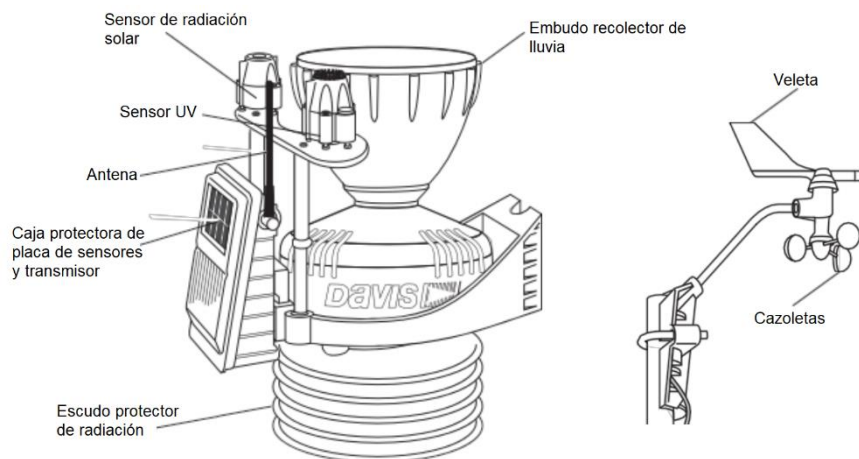


Figura 2. Componentes que conforman la EMA *Davis Vantage Pro 2*. Tomado de Davis Instruments (2014).

También se revisaron aspectos relacionados a la configuración de la consola y adquisición de datos. Se verificó que la consola tuviera la hora configurada correctamente, que estuviera recibiendo los datos y que los estuviera almacenando con las unidades adecuadas. También fue necesario revisar que los datos se respaldarán oportunamente en una computadora, ya que el *datalogger* los elimina luego de cierto tiempo al alcanzar el tope de almacenamiento.

Análisis de resultados

Luego de visitar 21 de las 22 EMA existentes en la red meteorológica de la UNED, se comprobó que actualmente cada región a excepción del Caribe Sur cuenta con al menos una EMA, pero la mayoría de las regiones climáticas tienen una cobertura pobre.

Como se aprecia en la Figura 3, en la región Pacífico Norte se consigue una alta cobertura con seis EMA que alcanzan a cubrir casi toda la región, donde se presenta la cobertura más pobre es en las zonas más al sur de la península de Nicoya, en esta región se tiene una EMA que no se visitó en la reserva de Monteverde, por lo que se consultaron sus condiciones actuales. Para la región Pacífico Central se tiene una cobertura pobre con solo una EMA que se encuentra ubicada en la zona montañosa de la región que no es representativa para los sectores costeros. En la región Pacífico Sur se cuenta con tres EMA que no cubren gran parte de la región, ya que se ubican en los

extremos este y noroeste, por tanto, no se captura el clima en las zonas centrales, en las altas montañas o en la península de Osa. La región Central representa adecuadamente los principales centros urbanos del país ubicados en el valle central contando con seis EMA, pero los registros no se extenderían hacia las zonas montañosas más altas. La Zona Norte cuenta con cuatro EMA que cubren tanto la región montañosa como las extensas llanuras, aunque la región es tan amplia que las zonas al oeste no son cubiertas. Por último, la región del Caribe posee una muy baja cobertura, la región se trata de una gran llanura que limita con zonas montañosas al sur y su clima usualmente se divide entre su parte norte y sur, la única EMA presente se encuentra en Limón en la parte norte, limitando con la parte sur.

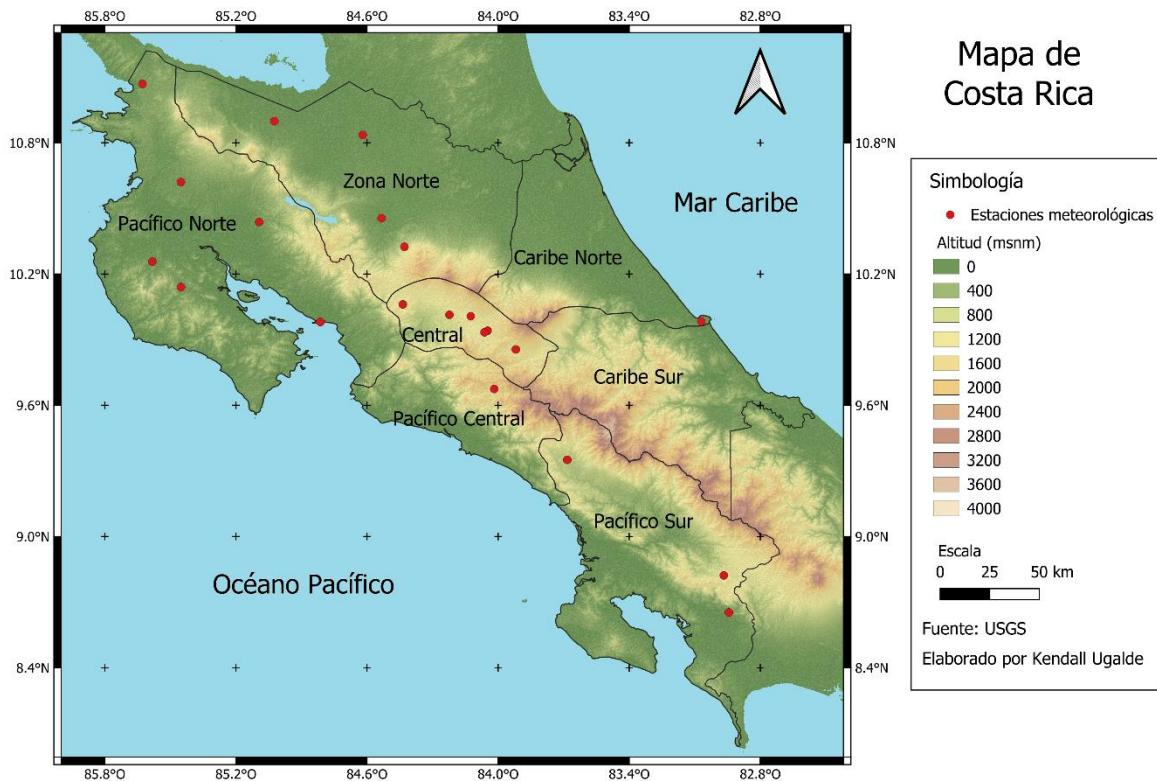


Figura 3. Distribución de las EMA de la UNED visitadas según las regiones climáticas de Costa Rica.

En ninguna sede se contaba con la información básica de identificación de sus EMA de forma explícita, por ende, fue adquirida durante la inspección y la mayoría se presenta en la Tabla 1. Con respecto a los antecedentes de cada estación, se encontró que las EMA de Cartago, Puntarenas, Limón, Upala, Alajuela, San Carlos, Palmares, Heredia, Liberia, Cañas, San Marcos, Ciudad Neily, Pérez Zeledón y Santa Cruz (14 estaciones en total) fueron adquiridas durante el 2018, pero se instalaron entre 2020 y 2021 siendo equipo relativamente nuevo. Sin embargo, no fue posible obtener información sobre los antecedentes del resto de EMA y se sabe que varias de ellas están operativas antes del 2021 sin recolectar datos, se consultó a los encargados de las EMA, pero desconocían desde cuando se instaló la EMA. Este tipo de información es relevante, ya que es necesaria para estimar por cuánto tiempo más la EMA puede continuar en funcionamiento y además algunas de las EMA se notaban bastante deterioradas por el tiempo de uso, incluso la EMA de San Vito que presentaba diversos daños en sus sensores dejó de operar durante el 2023.

Con respecto al emplazamiento de cada EMA se debe destacar que al encontrarse dentro una sede universitaria ninguna cumple por completo los requerimientos indicados por la OMM para estaciones de clase 1, esto principalmente por el entorno y las edificaciones aledañas se pueden bloquear vientos, generar sombras o actuar como fuentes de calor al ubicarse cerca de una EMA. Por otro lado, muchos de los centros también cuentan zonas verdes con árboles de tamaño considerable que imposibilita encontrar una zona amplia dentro de la propia institución, aunque es posible aspirar a condiciones de clase 2 o 3, donde las incertidumbres inducidas no son tan elevadas. En la Tabla 3 se muestra un cuadro comparativo donde se puede observar el cumplimiento de los requisitos recomendados de emplazamiento por la OMM para una EMA de clase 2. Además, en las Figuras 3-9 su puede visualizar el emplazamiento de cada EMA visitada.

Tabla 3. Cumplimiento de condiciones de clase 2 para cada EMA perteneciente a la red meteorológica de la UNED.

Sede de la EMA	Temperatura y humedad				Precipitación		Vientos superficiales		Radia ción
	a. Entre 1.25 y 2.0 m del suelo.	b. Sobre terreno plano.	c. Sobre vegetación corta.	d. Alejado 30 m de fuentes de calor.	e. Garita protectora contra vientos intensos.	f. Lejos de obstáculos que alteren la lluvia.	g. A 10 m sobre el nivel del suelo.	h. Lejos de obstáculos anchos y altos.	i. No hay obstáculos que generen sombras.
Cañas	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓
La Cruz	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Liberia	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	X
Nicoya	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Puntarenas	✓	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓
Santa Cruz	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	X
San Marcos	✓	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓
Ciudad Neily	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Pérez Zeledón	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
San Vito	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Alajuela	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	X
Cartago	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Heredia	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Palmares	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	X
Sabanilla	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X
San José	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓
CITTED	✓	✓	X	X	X	✓	X	✓	✓
Los Chiles	✓	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓
San Carlos	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Upala	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Limón	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓



(a)

(b)

(c)

Figura 4. (a) EMA emplazada en la sede de Cañas, (b) EMA emplazada en la sede de La Cruz y (c) EMA emplazada en la sede de Liberia. Todas estas pertenecen a la región Pacífico Norte.



(a)

(b)

(c)

Figura 5. (a) EMA emplazada en la sede de Nicoya, (b) EMA emplazada en la sede de Puntarenas y (c) EMA emplazada en la sede de Santa Cruz. Todas estas pertenecen a la región Pacífico Norte.



(a)

(b)

(c)

Figura 6. (a) EMA emplazada en la sede de Ciudad Neily, (b) EMA emplazada en la sede de Pérez Zeledón y (c) EMA emplazada en la sede de San Vito. Todas estas pertenecen a la región Pacífico Sur.



(a)

(b)

(c)

Figura 7. (a) EMA emplazada en la sede de Alajuela, (b) EMA emplazada en la sede de Cartago y (c) EMA emplazada en la sede de Heredia. Todas pertenecen a la región Central.



(a)

(b)

(c)

Figura 8. (a) EMA emplazada en la sede de Palmares y (b) EMA emplazada en la sede de Sabanilla. Todas pertenecen a la región Central.



(a)

(b)

(c)

Figura 9. (a) EMA emplazada en el Centro de Investigación Transferencia Tecnológica y Educación para el desarrollo (CITTED), (b) EMA emplazada en la sede de Los Chiles y (c) EMA emplazada en la sede de San Carlos. Todas pertenecen a la región Norte.

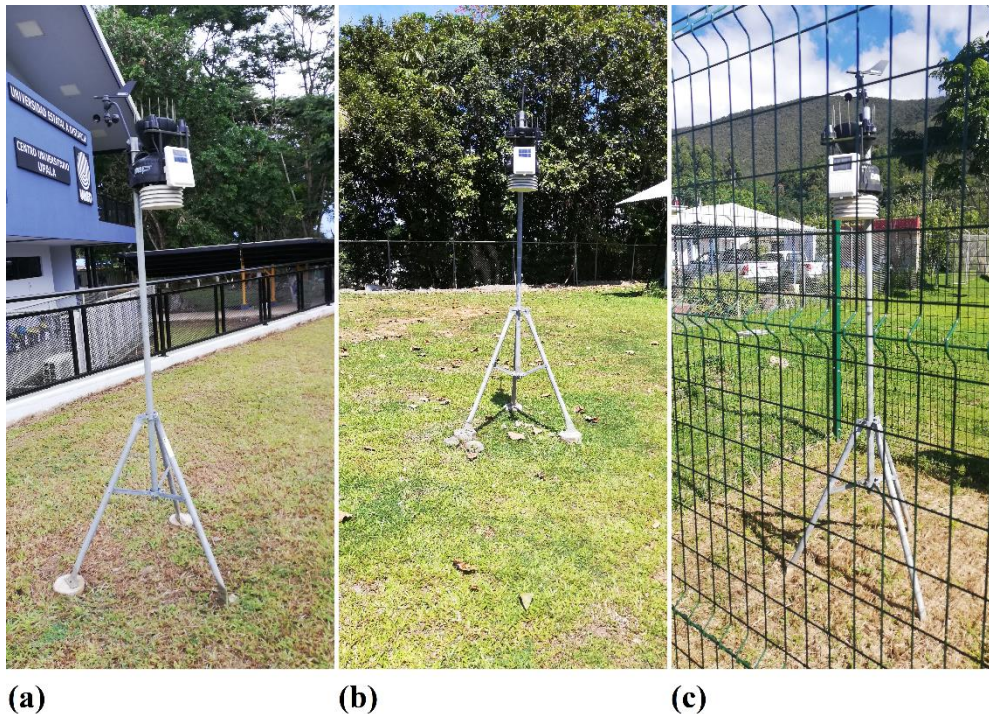


Figura 10. (a) EMA emplazada en la sede de Upala en la región Norte, (b) EMA emplazada en la sede de Limón en la región Caribe Norte y (c) EMA emplazada en la sede de San Marcos en la región Pacífico Central.

De la información mostrada en la Tabla 3 se debe destacar que la OMM (2014) recomienda que tanto el anemómetro como la veleta se encuentren a alturas de 10 m, aspecto que no cumple ninguna EMA de la UNED (la más cercana es Nicoya), por tanto todas las EMA tienen incertidumbres asociadas al viento superiores al 50%, ya que los sensores de viento se encuentran a alturas de aproximadamente 2 m. Basualdo et al. (2015) indica que colocar los sensores a 10 m en muchas ocasiones es inviable dado los costos y se pueden mantener a 2 m especialmente en aplicaciones agrícolas, sin embargo, es necesario que la zona alrededor de la EMA se encuentre libre de obstáculos, lo que no ocurre en la mayoría de las EMA a excepción de las ubicadas en las sedes de Puntarenas, San Marcos, CITTED y Los Chiles. Lo más recomendable para evitar este problema y disminuir incertidumbres en mediciones de viento es elevar el anemómetro y veleta lo más posible, preferiblemente 10 m.

La cercanía de las EMA a obstáculos no solo afecta las medidas del viento, sino también las de radiación y precipitación, ya sea por sombras posicionadas sobre las EMA o por agua de lluvia que salpica en un obstáculo cercano y luego cae al pluviómetro. Como se observó en la Tabla 3 son varias EMA las que se ven afectadas por sombras, pero en la mayoría de casos son por sombras ocasionadas en horas específicas del día debido a un poste o un rótulo cercano, pero en las sedes de Pérez Zeledón, Alajuela, Sabanilla y Upala los obstáculos son lo suficientemente extensos para inducir incertidumbres durante periodos largos del día.

Con respecto a la incertidumbre inducida en la precipitación debida a obstáculos cercanos, en la Tabla 3 se puede observar que son varias EMA afectadas, pero en la mayoría de casos estos obstáculos no son tan extensos y se puede solucionar moviendo la EMA unos pocos metros, a excepción de la EMA de Sabanilla que se detallará más adelante. Además, ninguna EMA cuenta con garita protectora de vientos, la OMM lo

recomienda para evitar que fuertes vientos expulsen la precipitación que se dirige al embudo, esto se puede solventar colocando algunos obstáculos cerca del embudo para frenar los vientos, aunque esto afectaría la medición de los propios vientos y es más importante priorizar la reducción de incertidumbre en los datos de viento.

Variables como la temperatura y humedad relativa son afectadas por la cercanía a parqueos o extensas áreas de concreto, ya que el flujo de calor en estas superficies es distinto al del césped. La única forma de solventar tal problema es desplazando el equipo, las EMA que se encuentran al lado de parqueos son en las sedes de Palmares, Ciudad Neily, Los Chiles y San Carlos, pero en las sedes de Heredia, Alajuela, San Marcos, Sabanilla y Upala las EMA están al lado de la carretera que vendría a tener un efecto similar.

En la Tabla 3 se muestra que todas las EMA están cerca de materiales que pueden retener y reflejar la radiación infrarroja proveniente del Sol (aceras, concreto y edificios), causando alteraciones en la temperatura percibida por el dispositivo, esta problemática es difícil de solventar dada la ubicación de la EMA en una sede, pero en los casos de Puntarenas, San Marcos, CITTED y Los Chiles que se ubican en espacios verdes semiabiertos y es posible trasladarse a posiciones más centrales que disminuyan la incertidumbre. Asimismo, la EMA de San Carlos, CITTED, Ciudad Neily, Liberia y Sabanilla no se encuentran sobre superficies de césped bajo, lo que también afecta las mediciones en temperatura y humedad relativa.

Es importante destacar que la EMA ubicada en la sede de Cartago presenta un problema particular, la consola en muchas ocasiones pierde conexión con la EMA evitando el registro de datos. La distancia entre ambos dispositivos no supera los 100 m, pero la consola se ubica dentro de un edificio grande con muchas paredes de concreto de por medio, lo cual podría afectar hasta cierto punto la conexión, en este caso es recomendable desplazar ya sea la EMA o la consola hasta una posición en la que no se ocasionen pérdidas de conexión.

También es importante enfatizar específicamente las condiciones de la EMA ubicada en Sabanilla, esta se encuentra en un emplazamiento poco apropiada y todos los parámetros medidos pueden presentar una incertidumbre elevada. Esta EMA se encuentra en la sede Central de la UNED, cerca de edificios muy altos y debajo de árboles, por lo que es necesario moverla a otro sitio, no obstante, el campus no cuenta con otras posiciones disponibles debido a la poca cantidad de espacios abiertos, lo más conveniente sería adecuar alguna azotea y colocar la EMA allí o considerar en trasladarla a otra sede.

Respecto a la EMA no visitada durante las giras de inspección, esta se encuentra ubicada en la reserva biológica de Monteverde, según las consultas realizadas, la EMA actualmente está posicionada en medio de una zona con mucha vegetación a su alrededor, lo cual es normal en casi cualquier lugar dentro de la reserva. También se sabe que la EMA no está recolectando datos, ya que presenta daños en su *datalogger* o en su consola (aún no se ha podido determinar la razón). Es necesario intervenir la EMA para buscar un sitio más adecuado donde colocarla y asegurar su funcionamiento de recolección de datos.

Es importante conocer la información anterior para mejorar el sitio de emplazamiento de cada EMA y si no fuera posible realizar cambios, se deben mantener registros de las condiciones en que se encuentra cada EMA, ya que si a futuro se utilizan los datos



suministrados por las estaciones estos variarán dependiendo del propio emplazamiento, porque dos estaciones colocadas en una misma ciudad pueden brindar datos muy distintos solamente por diferencias en el sitio del emplazamiento (Muller et al., 2013) y siguiendo las pautas de la OMM se busca una estandarización de las condiciones de cada EMA.

Por otro lado, el mantenimiento realizado sobre las EMA ha sido pobre desde que se instalaron. La Figura 11.a muestra la EMA de San Carlos con hormigas dentro de la carcasa de la placa transmisora, este problema fue poco común observándose solo en San Carlos y en La Cruz. Una problemática común fue la obstrucción de los pluviómetros (Figura 11.b), esto sucede por hojas de árboles, nidos de pájaros o cualquier elemento que alcance el embudo y bloquea el flujo de agua, incluso en la EMA de CITTED alejada de cualquier obstáculo se encontraron obstrucciones en el pluviómetro por acumulación de polvo. Por último, un problema observado en casi todas las EMA fue la gran suciedad que presentaban, la Figura 11.c muestra la carcasa protectora de los sensores de humedad y temperatura en la sede de Pérez Zeledón, el cual se necesita mantener blanco para disminuir el calentamiento por radiación. Esto no ocurrió solo con tal carcasa, se observó en la mayoría del equipo como en los sensores de radiación, la veleta o el embudo del pluviómetro. Todos estos problemas se resuelven únicamente con mantenimiento frecuente al equipo.

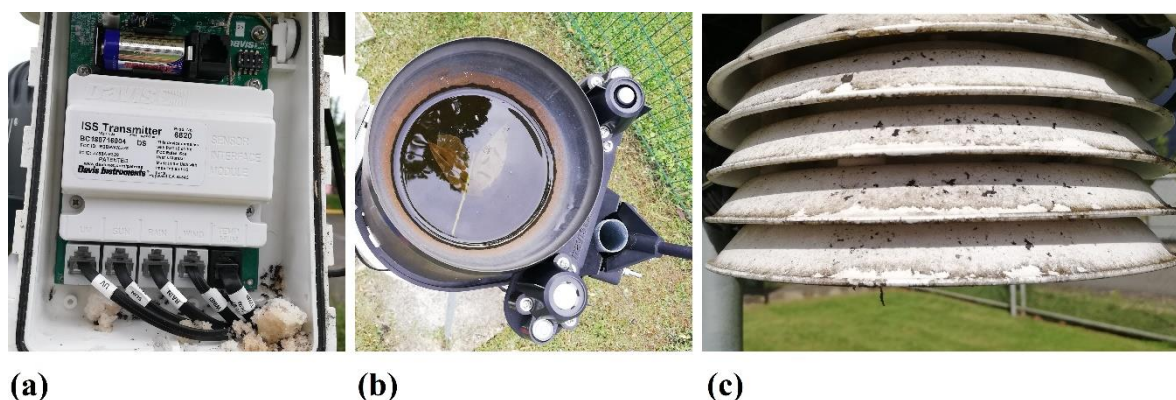


Figura 11. (a) Interior de la caja protectora de conexión de sensores con hormigas en la EMA de la sede de San Carlos, (b) pluviómetro de la EMA de la sede de Sabanilla obstruido por hojas y con agua estancada, (c) carcasa protectora de los sensores de humedad y temperatura en la EMA de la sede de Pérez Zeledón con mucha suciedad.

En el trabajo de Ramos-Cruz et al. (2018) se recomienda realizar las labores de mantenimiento cada seis meses en EMA cercanas a poblaciones y cada año para EMA ubicadas en zonas remotas, aunque se debe destacar que las EMA de la UNED se encuentran dentro de un centro universitario donde el personal se mantiene de manera permanente, en esta situación es muy recomendable realizar las labores de mantenimiento con mucho mayor frecuencia ya que esto garantiza una mayor calidad y homogeneidad en los datos meteorológicos recolectados (OMM, 2018).

Conclusiones

En general el estado actual de la red meteorológica de la UNED no es idóneo, muchas EMA cuentan con emplazamientos que presentan algún inconveniente que afecta la medición de diversos parámetros meteorológicos, el más destacable es el viento que

tiene altos porcentajes de incertidumbre en todas las EMA. Otro inconveniente a destacar es que al estar todas ubicadas dentro de una sede universitaria se encuentran cerca de edificios, aceras o grandes parqueos que pueden influir en variables como la temperatura, la humedad relativa, precipitación y radiación.

Son pocas las EMA que no tienen algún inconveniente en su emplazamiento, pero se deben destacar las sedes de Cañas, Puntarenas, San Marcos, CITTED y Limón que a pesar de presentar alguna fuente de incertidumbre las condiciones de su emplazamiento son cercanas a la clase 2 recomendada por la OMM y no tienen grandes inconvenientes para implementar mejoras. Con las 16 EMA restantes visitas (sin incluir la sede de Monteverde) se deben implementar muchos cambios para asegurar un emplazamiento de clase 2, sin embargo, en algunos casos incluso la clase 2 sería difícil de cumplir, por ende, se debería aspirar a un emplazamiento de clase 3. Además, con el despliegue de todas las EMA se debe destacar el gran alcance con que cuenta la UNED, esta institución es la universidad pública de Costa Rica con mayor cantidad de sedes y en 22 de ellas colocó una EMA alcanzando una gran cobertura climática en el país, especialmente en regiones como la Pacífico Norte y la Central.

Finalmente, el mantenimiento realizado en las EMA ha sido ineficiente, de modo que es importante que cada encargado realice tales labores tanto en el equipo como al respaldo de datos, las problemáticas comunes en las EMA fueron los pluviómetros con obstrucciones, las carcasas de los sensores con mucha suciedad y en casos aislados insectos dentro de la EMA. Se deben realizar actividades de mantenimiento rutinarias en las EMA para evitar la adquisición de datos poco fiable producto de un equipo defectuoso. Por último, es muy importante reiterar en los encargados de las EMA la relevancia del respaldo adecuado de los datos, ya que son estos los que se transforman en información útil y se han encontrado diversos problemas en los datos que se deberán solventar mediante análisis de control de calidad.

Recomendaciones

Debido a la pobre cobertura en la región Pacífico Central y Caribe es recomendable instalar nuevas EMA en tales regiones, considerando sedes universitarias como Parrita, Turrialba, Talamanca, Siquirres, Guápiles o sedes de otras regiones como Puerto Viejo u Osa. También se puede considerar en desplazar alguna EMA actual, por ejemplo, la EMA en Sabanilla no reúne condiciones adecuadas para recolectar datos, por lo que esta se podría desplazar a una sede de otra región, sobre todo porque a pocos kilómetros se encuentra otra EMA en barrio Escalante (San José) que presenta mejores condiciones de emplazamiento. Esto ayudaría a posicionar a la UNED como una institución con gran cobertura climática y podría generar productos útiles a futuro en diversos ámbitos.

Antes de iniciar un proceso para ampliar la cantidad de equipo meteorológico en la red de la UNED es necesario mejorar las condiciones de los instrumentos actuales. El parámetro climático que más se ve afecta es el viento (magnitud y dirección), es importante elevar los sensores de viento a una altura lo más cercana a 10 m. Mientras que la presencia de obstáculos de grandes dimensiones o fuentes de calor pueden afectar otros parámetros además del viento y es recomendable desplazar algunas EMA a un sitio más adecuado como en Ciudad Neily, Palmares, Alajuela, Upala o Pérez Zeledón. En otros casos como las EMA de La Cruz, Nicoya o Heredia los obstáculos



cercanos pueden provocar que la precipitación salpique de vuelta al pluviómetro, esto se puede evitar desplazando el equipo unos pocos metros.

Es importante crear un sitio web donde se puedan publicar el estado de las EMA para que los usuarios finales sean conscientes de los niveles de incertidumbres en los datos, especialmente en las EMA en que no se pueda determinar una mejor posición o no se puedan implementar mejoras, como sucede en la sede de San Carlos donde la EMA está al lado de un parqueo, pero no hay ubicación más óptima que la actual debido al tamaño reducido del terreno y de la cantidad de edificaciones presentes.

También es necesario que la UNED instruya con mayor profundidad en temas de mantenimiento y respaldo de datos al personal encargado de las EMA en cada sede, además de programar con mayor frecuencia visitas por parte de personal especializado que evalúe en profundidad el estado de las estaciones, ya que estas se deterioran con el tiempo.

Finalmente, es importante destacar que se está planificando una ruta de trabajo para solventar las diferentes problemáticas que presenta la red meteorológica. La UNED ha realizado la contratación de personas especializadas en meteorología que se encargaran de labores a corto plazo como la supervisión de la aplicación de algunas de las recomendaciones anteriores y de capacitar al personal encargado de las EMA en temas de mantenimiento. Se espera a largo plazo que se pueda contar con mayor presupuesto que permita aplicar las recomendaciones más costosas como elevar las veletas y el remplazo de sensores dañados.



Referencias bibliográficas:

Basualdo, A., Agricultura (IICA), I. I. de C. para la, Tecnología (ETIT), E. T. I. y, & Programa de Cambio Climático, R. N. y G. de R. P. (PCRG). (2015). Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2549>

Davis Instruments. (2014). Manual del Usuario para Vantage Pro2, Vantage Pro2 Weather y Vantage Pro2 Plus.

Durán-Quesada, A. M., Sorí, R., Ordoñez, P., & Gimeno, L. (2020). Climate Perspectives in the Intra–Americas Seas. *Atmosphere*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/atmos11090959>

Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2008). Segunda Comunicación Nacional de Costa Rica. Estudio sobre Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. San José, Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/>

López-Jiménez, V. L. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones e Investigación*, 8, 5.

Maldonado, T., Alfaro, E., & Hidalgo, H. G. (2018). A review of the main drivers and variability of Central America's Climate and seasonal forecast systems. *Revista de Biología Tropical*, 66(1-1), Article 1-1. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.33294>

Muller, C. L., Chapman, L., Grimmond, C. S. B., Young, D. T., & Cai, X.-M. (2013). Toward a Standardized Metadata Protocol for Urban Meteorological Networks. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(8), 1161-1185. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00096.1>

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2014). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación. N8. Ginebra, Suiza.

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). Guía del Sistema Mundial de Observación. N488. Ginebra, Suiza.

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2018). Guidelines on Quality Management in Climate Services. N1221. Ginebra, Suiza.

Ramos-Cruz, C. M., Almeyda-León, I. H., Granados-Rivera, L. D., Molina-Muñoz, R., & Pérez-Evangelista, E. R. (2018). Diagnóstico de la Red de Estaciones Agroclimatológicas Automatizadas en el Estado de Nuevo León. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3), Article 3. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/61>

Rodríguez, C. (2021). GUÍA PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONVENCIONALES. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Bogotá, Colombia.

Ureña-Elizondo, F. U. (2011). Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos. *Posgrado y Sociedad*



Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado, 11(1), Article 1.
<https://doi.org/10.22458/rpys.v11i1.1881>

