



**Instalación de sensores climáticos, generador atmosférico IoT y análisis lineal y no lineal de las
variables generadas**

Bayas Guerrero, William Daniel y Mora Villacís, María José

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.

13 de Septiembre de 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS Bayas_Mora.pdf (D112249989)
Submitted: 9/8/2021 7:20:00 PM
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Significance: 4 %

Firma

Firmado digitalmente por
DAVID VINICIO CARRERA VILLACRES
CARRERA VILLACRES CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.09.10 12:02:21 -05'00'

.....
Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.
C.C.: 1712218518

Firma

Firmado electrónicamente por
EDGAR RAMIRO GUERRON VARELA

.....
Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.
C.C.: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo de titulación, “**Instalación de sensores climáticos, generador atmosférico IoT y análisis lineal y no lineal de las variables generadas**” fue realizado por los señores **Bayas Guerrero, William Daniel y Mora Villacís, María José**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustentepúblicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

DAVID
VINICIO
CARRERA
VILLACRES

Firmado digitalmente por
DAVID VINICIO
CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.09.10
12:01:51 -05'00'

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

C.C.: 1712218518

Firma



Firmado electrónicamente por
**EDGAR RAMIRO
GUERRON VARELA**

Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.

C.C.: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Bayas Guerrero, William Daniel y Mora Villacís, María José**, con cédulas de ciudadanía N°. **1718602178** y **1718175688**, respectivamente; declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "**Instalación de sensores climáticos, generador atmosférico IoT y análisis lineal y no lineal de las variables generadas**", es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

Bayas Guerrero, William Daniel
C.C.: 1718602178

Firma

Mora Villacís, María José
C.C.: 1718175688



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Bayas Guerrero, William Daniel** y **Mora Villacís, María José**, con cédulas de ciudadanía N°. **1718602178** y **1718175688**, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación "**Instalación de sensores climáticos, generador atmosférico IoT y análisis lineal y no lineal de las variables generadas**", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

Bayas Guerrero, William Daniel
C.C.: 1718602178

Firma

Mora Villacís, María José
C.C.: 1718175688

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres William y Margarita, por su apoyo incondicional, su guía y sabiduría impartida, a mis hermanos Marlon y Kevin, gracias por creer en mí.

William Daniel Bayas Guerrero

Dedico este logro principalmente a Dios porque me dio la sabiduría y fortaleza para poder alcanzar este sueño. A mis padres César y Graciela por brindarme sus conocimientos, ayuda y guía y a mi hermana Gabriela, porque con su apoyo no me dejó rendir y me acompañó en cada momento con sus consejos.

María José Mora O.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermanos por ayudarme en todos los momentos vividos durante este proceso, por motivarme en mis fracasos y disfrutar de mis triunfos en familia. A mis abuelitos por enseñarme que la educación es regalo más grande que nos brindan nuestros padres. A toda mi familia por siempre motivarme y regalarme momentos únicos. A todos mis amigos que he hecho durante todo este trayecto, compartimos experiencias buenas y malas y sí que las disfrutamos. A mis tutores Dr. David Carrera y Ing. Edgar Guerrón por guiarnos y motivarnos durante la elaboración de este proyecto, por sus consejos y paciencia brindada.

William Daniel Bayas Guerrero

AGRADECIMIENTOS

A Dios le debo este logro porque me sostuvo durante cada momento difícil y me acompañó en mis alegrías, por darme la sabiduría y fuerza necesaria para poder alcanzar esta meta.

A mis padres, por apoyarme cada día, por ayudarme a buscar soluciones cuando no las encontraba, por ser mi soporte y sobre todo por sus oraciones que siempre me acompañaron.

A mi hermana Gabriela, por acompañarme cada día, por animarme a seguir y no rendirme, por todos los consejos, palabras de aliento, abrazos oportunos y por siempre ser mi modelo a seguir.

Al resto de mi familia, principalmente a mi abuelita Carmen, Ñaña China y Ñaña Ceci, Anita Paula y Dani, por cada mensaje y llamada para expresar su apoyo.

A los amigos que la universidad me regaló, Patricio y David, por su apoyo incondicional durante toda nuestra carrera, por tantos años de amistad, aventuras, trabajos y madrugadas, gracias colegas. A Gabriela, quien me acompañó durante todo mi trayecto universitario porque a pesar de estudiar una carrera diferente, siempre encontró un momento para mí y me brindó su apoyo. A Daniel, quien con sus bromas pesadas y alegría me acompañó, me animó y me regaló sus consejos para no rendirme y seguir. A Alex, por acompañarme la mayoría de mi trayectoria universitaria, por apoyarme siempre en cada dificultad que se me presentaba, por su paciencia y todo su amor.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", porque gracias a ella pude conocer a personas maravillosas y a los profesores Ing. Jorge Zúñiga y Dr. Washington Sandoval por brindarme sus conocimientos y guía.

A mis tutores, en especial al Ing. Ramiro Guerrón por sus conocimientos impartidos, paciencia apoyo y guía para la realización de este trabajo.

María José Mora O.

Tabla de contenido

Similitud del contenido	2
Certificado del director	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
Resumen	19
Abstract.....	20
CAPÍTULO I	21
ASPECTO GENERALES	21
Introducción	21
Planteamiento del problema.....	21
Antecedentes	22
El Agua	22
Sensores.....	24
Justificación e importancia	27
Objetivos.....	28
Objetivo General	28
Objetivos específicos.....	28

CAPÍTULO II	29
MARCO TEÓRICO	29
Obtención de agua.....	29
Generador atmosférico	29
Componentes generales.....	30
Energía renovable.....	32
Meteorología	35
Instrumentos de medición	36
Variables climatológicas	37
Psicrometría.....	38
Humedad absoluta	39
Masa de agua	39
Masa de aire seco.....	39
Humedad específica	39
Humedad relativa	40
Volumen específico	40
Entalpía	40
Entalpía específica de aire seco.....	40
Entalpía específica del vapor saturado.....	40
Entalpía de agua condensada.....	41

	11
Caudal másico de agua condensada	41
Potencia de refrigeración requerida	41
Punto de rocío	41
Análisis estadístico de variables climatológicas	42
Series Temporales	42
Componentes	42
Clasificación.....	43
Relleno de datos faltantes	43
Modelos de Suavizamiento	44
Procesos lineales estacionarios	45
Proceso de Autorregresión.....	45
Modelo de ARIMA	45
Prueba de normalidad.....	46
Shapiro-Wilk.....	46
Kolmogorov-Smirnof	47
Coeficientes para la prueba de normalidad	47
Curtosis	48
Prueba de Ljung Box.....	48
Validación de datos	49
Análisis Lateral.....	49

	12
Diagrama de caja.....	49
Software R.....	49
Sistema IoT.....	50
Partes del sistema.....	51
Sensores.....	52
Arduino.....	53
Componentes.....	53
Gateway.....	54
Transferencia de datos a la nube.....	54
Sistema de control centralizado.....	54
Lora WAN (Long Range Wide Area Network).....	55
CAPÍTULO III.....	56
METODOLOGÍA.....	56
Fase 1: Descripción de la zona de estudio.....	58
Fase 2: Diseño e implementación.....	60
Sistema de monitoreo.....	60
Generador atmosférico.....	63
Esquema de trabajo.....	63
Sistema de ventilación.....	65
Sistema de Enfriamiento.....	65

	13
Condensador	65
Sistema de bombeo.....	67
Sistema de alimentación	67
Fase 3: Recolección y análisis de datos	69
Recolección de datos.....	69
Análisis de datos.....	69
Análisis individual.....	69
Análisis comparativo	70
Presupuesto Referencial.....	70
Análisis ambiental.....	71
CAPÍTULO IV	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
Diseño de generador atmosférico	73
Sistema de ventilación.....	73
Sistema de enfriamiento	76
Condensador	76
Bomba.....	78
Sistema de alimentación	79
Análisis de series temporales.....	84
Análisis Individual.....	84

	14
Temperatura Máxima.....	84
Temperatura Mínima	91
Humedad.....	97
Radiación Solar.....	103
Análisis comparativo	109
CAPÍTULO VI	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
Conclusiones.....	112
Recomendaciones.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Valores del coeficiente de correlación r</i>	44
<i>Tabla 2. Características para selección de tecnología inalámbrica</i>	51
<i>Tabla 3. Resumen zona de estudio</i>	60
<i>Tabla 4. Tipos de sensores meteorológicos</i>	61
<i>Tabla 5. Presupuesto Referencial del Generador Atmosférico</i>	71
<i>Tabla 6. Presupuesto Referencial de los sensores</i>	71
<i>Tabla 7. Valores obtenidos para el diseño del sistema de ventilación</i>	73
<i>Tabla 8. Valores obtenidos para el diseño del sistema de ventilación</i>	74
<i>Tabla 9. Parámetros psicrométricos</i>	75
<i>Tabla 10. Valores establecidos para condensador</i>	76
<i>Tabla 11. Valores iniciales condensador</i>	76
<i>Tabla 12. Dimensiones y distribución condensador</i>	77
<i>Tabla 13. Longitudes equivalentes por accesorios</i>	79
<i>Tabla 14. Valores obtenidos para el diseño del sistema de enfriamiento</i>	79
<i>Tabla 15. Determinación de Cargas en Corriente Continua (12V)</i>	80
<i>Tabla 16. Determinación de Cargas en Corriente Alterna (110V)</i>	80
<i>Tabla 17. Determinación de Cargas Final</i>	80
<i>Tabla 18. Corriente pico del modulo</i>	80
<i>Tabla 19. Dimensionamiento del Módulo FV</i>	81
<i>Tabla 20. Dimensionamiento del Banco de baterías</i>	81
<i>Tabla 21. Dimensionamiento del Inversor</i>	82

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Esquema del ciclo global del agua en la era antropocena</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2. Esquema de generador atmosférico</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3. Distribución fuentes de energía</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. Cambio en la temperatura respecto a 1850-1900 (°C).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5. Línea temporal de instrumentos de medición meteorológica</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6. Representación de las partes del sistema</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7. Parte de placa Arduino.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 8. Diagrama de flujo del proyecto.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 9. Mapa de localización</i>	<i>59</i>
<i>Figura 10. Estado inicial de los sensores</i>	<i>62</i>
<i>Figura 11. Sensores readecuados.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 12. Instalación de sensores</i>	<i>62</i>
<i>Figura 13. Actualización de código</i>	<i>63</i>
<i>Figura 14. Diagrama de flujo del generador atmosférico</i>	<i>64</i>
<i>Figura 15. Esquema del sistema de ventilación.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 16. Esquema de condensador</i>	<i>77</i>
<i>Figura 17. Esquema de condensador</i>	<i>78</i>
<i>Figura 18. Esquema final del generador atmosférico.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 19. Serie de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>85</i>
<i>Figura 20. Histograma de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>86</i>
<i>Figura 21. Modelo de ARIMA de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>86</i>
<i>Figura 22. Prueba de residuos de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 23. Pronóstico de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>87</i>

<i>Figura 24. Serie de Temperatura Máxima - IASA</i>	<i>88</i>
<i>Figura 25. Histograma de Temperatura Máxima – IASA.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 26. Modelo de ARIMA de Temperatura Máxima – IASA.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 27. Prueba de residuos de Temperatura Máxima – IASA</i>	<i>90</i>
<i>Figura 28. Pronóstico de Temperatura Máxima – IASA.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 29. Serie de Temperatura Máxima - Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>91</i>
<i>Figura 30. Histograma de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>92</i>
<i>Figura 31. Modelo de ARIMA de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>92</i>
<i>Figura 32. Prueba de residuos de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 33. Pronóstico de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>93</i>
<i>Figura 34. Serie de Temperatura Mínima - IASA</i>	<i>94</i>
<i>Figura 35. Histograma de Temperatura Mínima – IASA</i>	<i>95</i>
<i>Figura 36. Modelo de ARIMA de Temperatura Mínima – IASA</i>	<i>95</i>
<i>Figura 37. Prueba de residuos de Temperatura Mínima – IASA</i>	<i>96</i>
<i>Figura 38. Pronóstico de Temperatura Mínima – IASA</i>	<i>96</i>
<i>Figura 39. Serie de Humedad - Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>97</i>
<i>Figura 40. Histograma de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 41. Modelo de ARIMA de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 42. Prueba de residuos de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>99</i>
<i>Figura 43. Pronóstico de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 44. Serie de humedad - IASA</i>	<i>100</i>
<i>Figura 45. Histograma de humedad – IASA</i>	<i>101</i>
<i>Figura 46. Modelo de ARIMA de humedad – IASA</i>	<i>101</i>
<i>Figura 47. Prueba de residuos de humedad – IASA.....</i>	<i>102</i>

<i>Figura 48. Pronóstico de humedad – IASA</i>	<i>102</i>
<i>Figura 49. Serie de Radiación Solar - Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>103</i>
<i>Figura 50. Histograma de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 51. Modelo de ARIMA de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 52. Prueba de residuos de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0</i>	<i>105</i>
<i>Figura 53. Pronóstico de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 54. Serie de Radiación Solar - IASA.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 55. Histograma de Radiación Solar – IASA.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 56. Modelo de ARIMA de Radiación Solar – IASA.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 57. Prueba de residuos de Radiación Solar – IASA</i>	<i>108</i>
<i>Figura 58. Pronóstico de Radiación Solar – IASA.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 59. Análisis comparativo de Temperatura Máxima</i>	<i>109</i>
<i>Figura 60. Análisis comparativo de Temperatura Mínima</i>	<i>110</i>
<i>Figura 61. Análisis coparativo de Humedad.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 62. Análisis comparativo de Radiación Solar.....</i>	<i>111</i>

Resumen

La escasez de agua en las últimas décadas es un problema recurrente, ya que 4 de cada 10 personas en todo el mundo no tiene acceso a agua segura y de calidad. Este líquido vital a menudo es la principal razón por la que las comunidades se unen para gestionar este recurso de forma responsable. A partir de allí surgió la necesidad de pronosticar acertadamente el clima para planificar y organiza las actividades de los seres humanos como la agricultura, por ello, se llevó a la creación de instrumentos de medición de variables climatológicas. El presente proyecto realizó un análisis de las bases de datos de la Torre Urku Yaku 2.0 y la estación meteorológica del IASA tanto longitudinal y transversal, de los sensores IoT de temperatura máxima, mínima, humedad y radiación solar mediante estadística descriptiva para conocer su comportamiento y realizar un pronóstico. Por otro lado, para el diseño del generador atmosférico, como método innovador de captación de agua, se tuvo en consideración el comportamiento de las variables humedad y temperatura, además de una adecuada selección de materiales para un buen funcionamiento a la intemperie. El método utilizado fue por condensación. Como resultados se obtuvo una predicción adecuada de temperatura máxima y mínima, lo cual no se pudo realizar para la humedad y radiación solar por la falta de información y datos muy variables, es decir, que la base de datos presentó varias inconsistencias especialmente para estas últimas dos variables. Para el generador atmosférico se calculó una producción de 6,20 lt durante 6 horas de funcionamiento.

Palabras clave:

- **AGUA**
- **CONDENSACIÓN**
- **GENERADOR ATMOSFÉRICO**
- **SENSORES IOT**
- **VARIABLES**

Abstract

Water scarcity in recent decades is a recurring problem, as 4 out of 10 people worldwide do not have access to safe, quality water. This vital liquid is often the main reason why communities come together to manage this resource responsibly. From there arose the need to accurately forecast the climate in order to plan and organize human activities such as agriculture, thus leading to the creation of instruments for measuring climatological variables. The present project conducted an analysis of the databases of the Urku Yaku 2.0 Tower and the IASA meteorological station both longitudinal and transversal, of the IoT sensors of maximum and minimum temperature, humidity and solar radiation through descriptive statistics to know their behavior and make a forecast. On the other hand, for the design of the atmospheric generator, as an innovative method of water collection, the behavior of the humidity and temperature variables was taken into consideration, as well as an adequate selection of materials for a good performance outdoors. The method used was by condensation. As results, an adequate prediction of maximum and minimum temperature was obtained, which could not be done for humidity and solar radiation due to the lack of information and highly variable data, i.e., the database presented several inconsistencies, especially for the latter two variables. For the atmospheric generator, a production of 6.20 liters was calculated for 6 hours of operation.

Key words:

- **WATER**
- **CONDENSATION**
- **ATMOSPHERIC GENERATOR**
- **IOT SENSORS**
- **VARIABLES**

CAPÍTULO I

ASPECTO GENERALES

Introducción

Planteamiento del problema

A nivel mundial la escasez de agua en las últimas décadas se ha vuelto un problema recurrente pues 4 de cada 10 personas en el mundo carecen de acceso a una fuente de agua segura y de buena calidad y hasta 2,5 mil millones de personas no cuentan con un sistema de tratamiento adecuado de la misma (Lladó Cobo, 2019).

La huella ecológica que generan los países industrializados es significativa en relación a los países en desarrollo superando así la autoregeneración del planeta. Un ejemplo de ello es que el consumo de agua ha ido en aumento en los últimos años pues en esta época, un niño recién nacido en un país desarrollado consume y contamina entre 30 y 50 veces más que un niño nacido en un país vía de desarrollo (FNUAP, 2001).

A menudo, el agua es el motivo principal de unión de comunidades, las cuales buscan implementar acciones para el manejo responsable de este recurso y así potencializar las tres vertientes del desarrollo: económico, medioambiental y social (UNESCO World Water Assessment, 2003).

En Ecuador existe una disponibilidad de 376 km³ de recursos hídricos distribuidos a nivel regional en Costa (70,05 km³), Sierra (59,73 km³) y Amazonía (246,25 km³) La distribución del consumo de agua es: consumo doméstico, 1,48 km³, es decir, 9,4%; consumo agrícola, 13,05 km³, es decir, 82,6%; y consumo industrial y otros, 1,27 km³, es decir, 8% (Yáñez et al., 2017).

De acuerdo a las últimas estadísticas sobre los indicadores de agua, saneamiento e higiene realizados en nuestro país, el porcentaje de población que cuenta con una fuente de agua de calidad es del 80,3% en zona urbana y del 58,7% en zona rural (INEC, 2019), es por ello que surge la necesidad de estudiar el comportamiento de las variables climáticas y con ello proponer la utilización de nueva tecnología para crear fuentes de obtención de agua.

En el presente proyecto se plantea la propuesta de captación de agua para lugares de difícil acceso o que no tienen disponibilidad de una red de suministro mediante un generador atmosférico, el cual a través de un sistema de condensación extrae agua del aire. Adicionalmente, se propone instalar una estación meteorológica en la zona de estudio, con el fin de evaluar el comportamiento de las variables climatológicas.

Antecedentes

El Agua

Unos de los recursos más importantes para la supervivencia del ser humano, es el agua, recurso que ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra. Como se observa en la Figura 1 su distribución es: atmósfera sobre la Tierra $3\pm 10\%$, gelisuelo de $210\pm 100\%$, lagos salino $95\pm 10\%$, agua subterránea renovable $630\pm 70\%$, agua subterránea no renovable $22000\pm 80\%$, embalses $11\pm 40\%$, humedad del suelo $54\pm 90\%$, humedales $14\pm 20\%$, manto de nieve anual máximo $2,7\pm 20\%$, agua biológica $0,94\pm 30\%$, ríos $1,9\pm 20\%$, atmósfera sobre el océano $10\pm 20\%$, capas de hielo y glaciales $26000\pm 10\%$, agua dulce $110\pm 20\%$, superficie del océano $130000\pm 30\%$ y océano profundo $1200000\pm 8\%$, todos estos valores están expresados en 10^3 km^3 (Abbott et al., 2019). De la distribución anteriormente mencionada se busca obtener agua potable aprovechando el agua que existe en la atmósfera sobre la Tierra.

Figura 1

Esquema del ciclo global del agua en la era antropocena



Nota. Tomado de *Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions* (p.537), por Abbott et al., 2019, Nature Geoscience.

Este importante líquido vital tiene diferentes funcionalidades entre ellas el abastecimiento para consumo humano, uso agrícola, industrial, comercial, entre otros; es por ello, que la ONU en 2015 estableció 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para tratar diversos problemas mundiales, entre ellos el cuidado y preservación del agua. En base a lo antes mencionado, este proyecto busca dar cumplimiento al objetivo 6: “Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos” y al objetivo 15: “Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica” (ONU, 2015).

En Ecuador el crecimiento poblacional y la necesidad de viviendas ha provocado un cambio en cuando a la administración y empleo de recursos naturales, para ello, es importante un correcto manejo y predicción de parámetros meteorológicos, los cuales puedan ser utilizados

para la planificación, diseño y ejecución de proyectos ingenieriles que den solución a estas problemáticas.

Sensores

Los sensores IoT presentan un gran beneficio a la hora de recolectar datos en tiempo real a través de una red automatizada, es decir, no se requiere la interacción de persona a persona representando así un ahorro de recursos humanos y económicos (Lyu & Yin, 2020).

Existe una gran variedad de sensores que pueden medir variables climáticas como son los sensores de precipitación, de velocidad del viento, de nivel de tanque de agua, de radiación, de poder de los paneles solares, caudalímetros, entre otros.

Algunas de las aplicaciones más destacadas en donde se han utilizado sensores son:

- ⇒ En Colombia, se realizó una investigación sobre un sistema IoT para el monitoreo de cultivos protegidos, mismo que podía recolectar datos relacionados al cultivo de estudio. La información obtenida en tiempo real se procesaba y se enviaba a un servidor con lo cual se podía realizar la respectiva toma de decisiones tanto del servidor como del agricultor. La interacción con el sistema se puede realizar de forma remota y de igual manera se recibían las alertas programadas (Gómez et al., 2018).
- ⇒ En México, se elaboró una plataforma IoT llamada "SGreenH-IoT" de bajo costo y posee un consumo energético con la cual se puede monitorear los cultivos e invernaderos. Está conformada por cuatro capas lo cual la hace más efectiva puesto a que su buen funcionamiento para recolectar datos y la toma de decisiones que está integrada, presenta un porcentaje nulo en pérdida de datos (Guerrero-Ibañez et al., 2017).

- ⇒ En Colombia, uno de los pilares de sustento económico es la agricultura, en especial el café, por lo cual mejorar las técnicas de producción se convierte en una meta, el uso de sensores IoT propone una inversión de bajo costo mediante el cual se puede monitorear variables como la humedad, cantidad de agua, salinidad, temperatura, radiación, entre otros; estas variables pueden ser una fuente de datos que permita pronosticar y controlar: enfermedades y plagas. El manejo de estos parámetros permitirá crear productos de calidad optimizando recursos y maximizando su calidad (Castelblanco, 2020).
- ⇒ Generar las bases que conlleven a la modernización de productos es uno de los Casos del SENA, granja del Centro Agropecuario, la lombricultura se encarga de crear el producto llamada “abono natural”, mismo que resulta de procesar y crear materia orgánica mediante el empleo de lombrices y microorganismos, la importancia de esta investigación es conocer las condiciones ambientales en las cuales se pueda crear un mejor producto características superiores (Guaca et al., 2020).
- ⇒ En India, los sensores IoT desempeñan un papel esencial para la seguridad y productividad de las minas, es por ello que se ha creado un modelo híbrido CNN-LSTM el cual puede obtener características espaciales y temporales de los datos de las minas y también puede predecir de manera eficiente los peligros mineros existentes (Dey et al., 2021).
- ⇒ En Arabia Saudita, se ha implementado tecnologías habilitadoras inteligentes como Cloud Portal en donde se utiliza el proceso de desalinización para obtener agua potable de una manera más rentable, eficiente y ecológica (Alshehri et al., 2021).
- ⇒ En la actualidad está en auge la producción de cultivos energéticamente eficiente, tema que ha sido considerado y evaluado en Malasia en donde se estudió las variaciones en un cultivo de tomate entre un invernadero y a la intemperie. Los sensores IoT sirvieron para

monitorear y registrar los datos meteorológicos mismos que se analizaron para una futura toma de decisiones (Shamshiri et al., 2020).

- ⇒ En Grecia, la revolución de la agricultura o también llamada agricultura 4.0 ha surgido mediante la combinación de dos tecnologías: sensores IoT y tecnología UAV o Vehículos Aéreos No Tripulados, con lo cual se transforma las prácticas de cultivo tradicionales en una nueva y mejorada perspectiva de inteligencia en agricultura de precisión (Boursianis et al., 2020).
- ⇒ Con el fin de promover el desarrollo de la informatización de la acuicultura y monitorear los estanques de manera más precisa y conveniente, se ha desarrollado un sistema de monitoreo de la calidad del agua para estanques basado en la tecnología de Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT). Este sistema realiza la recolección remota y el almacenamiento de datos de la información del procesador multisensor (temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD) y entre otros parámetros ambientales), así como el control inteligente y la gestión centralizada de los estanques de reproducción. El sistema se implementó y probó en ChangZhou, provincia de JiangSu, China. Los resultados experimentales mostraron que el sistema puede obtener parámetros de calidad del agua en tiempo con un error relativo aproximado del 2% (Huan et al., 2020).
- ⇒ En Italia se implementó la tecnología IoT para elaborar un sistema inalámbrico de predicción temprana de paro cardíaco, el cual es uno de los problemas de salud más prevalentes en la actualidad. El objetivo es presentar un sistema multisensorial utilizando IoT que pueda recolectar la frecuencia cardíaca de la actividad física y la temperatura corporal para la predicción de un paro cardíaco repentino o un ataque cardíaco (Elsaadany et al., 2017).

⇒ En Cantabria, se realizó una evaluación de tecnologías y servicios IoT orientado a ciudades inteligentes. La instalación de infraestructuras tecnológicas mediante sensores y actuadores en distintos lugares es esencial para la obtención de datos, manejo de recursos y toma de decisiones. Se plantean 9 dimensiones para implantar una estructura sólida y funcional, las cuales son: capital humano, cohesión social, economía, gobernanza, medio ambiente, movilidad y transporte, planificación urbana, proyección internacional y tecnología, mismas que aportan a la creación de una ciudad inteligente que sea sustentable (Gómez Seguro, 2019).

Justificación e importancia

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”, se busca “avanzar hacia una economía social y solidaria, ecologista, basada en el conocimiento y el talento humano, para salir del extractivismo”, por lo cual, el aprovechamiento y manejo de los recursos disponibles debe ser responsable y eficiente (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Ecuador posee una red de estaciones meteorológicas e hidrológicas las cuales están situadas en puntos estratégicos, sin embargo, los mismos no cubren todas las posibles zonas de estudio para proyectos futuros. La infraestructura tecnológica es limitada especialmente en el área agrícola para el monitoreo de parámetros ambientales que influyen en el manejo sustentable de los recursos hídricos y protección de suelos (Alvarado Unamuno et al., 2016).

Al incluir herramientas tecnológicas como son los sensores climáticos, se podrá llevar a cabo una mejor medición y registro de datos, y así tener grandes beneficios en el campo de la agricultura mediante el control ambiental de invernaderos y/o zonas de cultivos para así elevar la calidad de los productos y optimizar el ciclo de vida de las plantaciones, con ello se permitirá tomar decisiones y acciones oportunas (Castelblanco, 2020).

Debido a las grandes problemáticas existentes referentes a la contaminación de ríos y quebradas con aguas residuales domiciliarias e industriales, existe vulnerabilidad en la población humana, animal y plantaciones de este lugar pues se han registrado casos de enfermedades, es por ello, que el presente proyecto pretende dar una solución viable e innovadora la cual es utilizar generadores atmosféricos, dispositivos de bajo costo, los cuales permiten obtener agua de manera amigable con el medio ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Instalar sensores climáticos de temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa, nivel de líquido y un generador atmosférico IoT mediante la implementación del software libre y hardware Arduino para realizar un análisis transversal y longitudinal de las variables generadas.

Objetivos específicos

- Instalar los sensores de temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa, nivel de líquido y óptico de neblina mediante la implementación de arquitectura IoT para el registro y manejo de datos.
- Realizar un análisis longitudinal y transversal de los datos generados por los sensores de temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa mediante el uso del software R para conocer la correlación entre variables.
- Diseñar un modelo de un generador atmosférico basado en energía solar con el fin de obtener agua mediante el proceso de condensación para su aprovechamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Obtención de agua

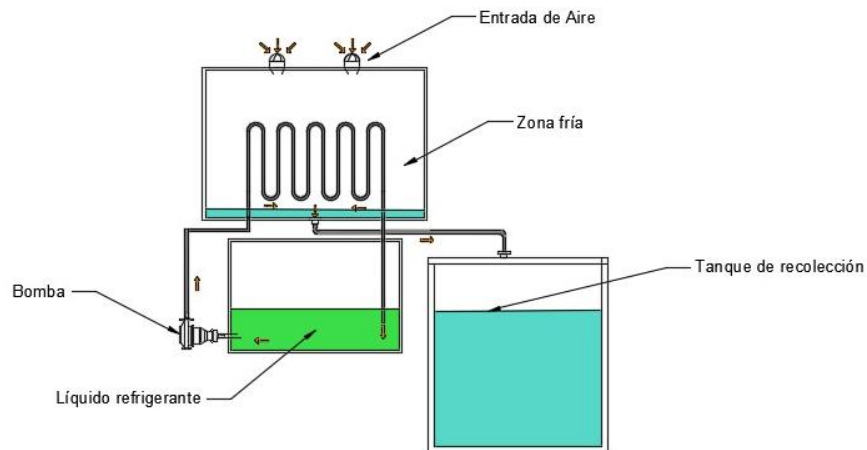
El proceso de obtención de agua mediante la condensación consiste en que un gas saturado se puede deshumidificar cuando su temperatura desciende de bajo del punto de rocío provocando que las moléculas cambien de estado gaseoso a líquido (McCabe et al., 1991). Siendo así que los equipos de generación de agua utilizan este principio para poder obtenerla (Trabado Sagot & Hidalgo Madriz, 2019).

Generador atmosférico

El generador atmosférico, en la última década ha cobrado mayor importancia pues es un invento ecologista y una nueva, mejorada e innovadora forma de obtener agua pues utiliza como fuente de energía paneles solares. Es un dispositivo conocido por simular de forma artificial una parte del ciclo del agua. Su generación inicia con la absorción de aire a temperatura ambiente, seguidamente choca con una superficie que posee una temperatura menor a los 0°C dando lugar a la obtención de agua por medio del proceso de condensación, respetando al medio ambiente (Tu & Hwang, 2020). En la Figura 2 se presenta un esquema del funcionamiento de un generador atmosférico.

Figura 2

Esquema de generador atmosférico



Nota. Elaboración propia

Componentes generales

- *Ventilador:* Dispositivo que suministra aire a la cámara protectora para que se condense en su interior (Pinzón, 2018).
- *Cámaras protectoras:* están conformadas por poliuretano, el cual presenta “excelentes propiedades termoaislantes, una baja permeabilidad al vapor de agua, una alta resistencia a la absorción de agua, una resistencia mecánica relativamente alta y una baja densidad” (Shawyer & Medina, 2005).
- *Condensador:* Es un dispositivo en el que se condensa el vapor de agua. Los condensadores utilizados en los intercambiadores de calor vienen en una variedad de diseños y tamaños (Acosta Rodríguez & Reina Riaño, 2019).
- *Batería recargable:* Es un dispositivo que consta de una o más celdas electroquímicas con conexiones externas, para alimentar dispositivos eléctricos (Tripathi et al., 2016).

- *Regulador de batería:* Responsable de controlar la carga y descarga de la batería y evitar la sobrecarga (Zecchin Chiaia, 2021).
- *Paneles solares:* Las celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica. Los paneles capturan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz. Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados (Arencibia-Carballo, 2016).

Se ha encontrado que los paneles solares por sí solos inducen el enfriamiento regional al convertir la energía solar entrante en electricidad en comparación con el clima sin paneles solares. La conversión de esta electricidad en calor, principalmente en áreas urbanas, aumenta las temperaturas regionales y globales que compensan el efecto de enfriamiento (Hu et al., 2016).

Esta fuente de energía ha cobrado mayor importancia en las últimas décadas desde que se ha detectado varias deficiencias en los combustibles fósiles (Rizk & Chaiko, 2008). Por ello se ha buscado nuevas aplicaciones de la energía solar en baterías recargables proporcionando una solución en cuanto a la generación de energía limpia (Q. Li et al., 2017).

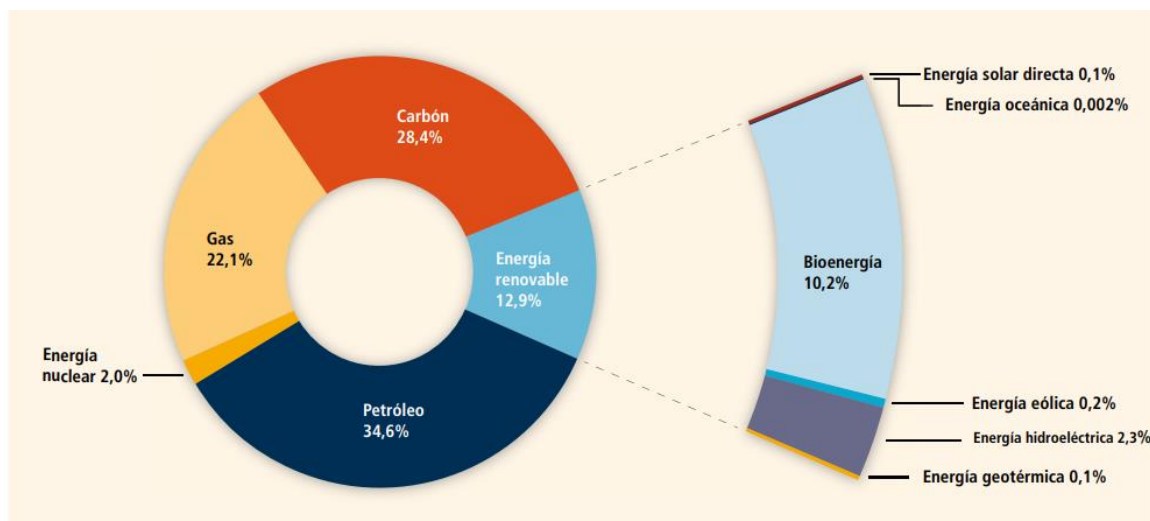
- *Transformador:* Dispositivo que convierte la corriente continua del regulador en corriente alterna y alimenta este tipo de carga (Zecchin Chiaia, 2021).
- *Sensores meteorológicos:* temperatura, radiación solar, de nivel de líquido, anemómetro

- *Bomba para líquido refrigerante:* Es un dispositivo que transfiere energía a una corriente de fluido y la empuja desde un estado de presión estática baja a un estado de presión más alta (Sánchez Arancibia, 2019).
- *Reservorio de agua:* Es un tanque que contiene el agua generada por el condensador y tiene un sensor de nivel interno para medir la cantidad de agua (Acosta Rodríguez & Reina Riaño, 2019).

Energía renovable

La energía renovable se define como un activo que se actualiza continuamente en presencia de fuerzas físicas como mareas, viento, cascadas, gradientes de temperatura del océano, energía geotérmica, luz solar directa o la formación de plantas y animales. (Henry & Heinke, 1999).

En la actualidad el desarrollo de las sociedades en los ámbitos económico, infraestructura, vivienda y salud exigen grandes cantidades de energía aumentando su demanda. Buscando satisfacer estas necesidades, el ingenio del hombre lo llevo a partir de 1850 aproximadamente a utilizar combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón) llevándolos a ser la principal fuente de energía pero no fue hasta la era industrial debido a la invención de grandes máquinas y equipos que facilitaban las actividades del hombre que su explotación se convirtió en exponencial. Las consecuencias a corto plazo en ese entonces no fueron visibles pero a largo plazo resultaron ser negativas pues se generó un impacto al medio ambiente con el incremento de emisiones de dióxido de carbono (Pichs-Madruga et al., 2011). En la Figura 3 se muestran la distribución de fuentes de energía en la actualidad.

Figura 3*Distribución fuentes de energía*

Nota. Tomado de Pichs-Madruga, R., Edenhofer, O., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., & Stechow, C. von. (2011).

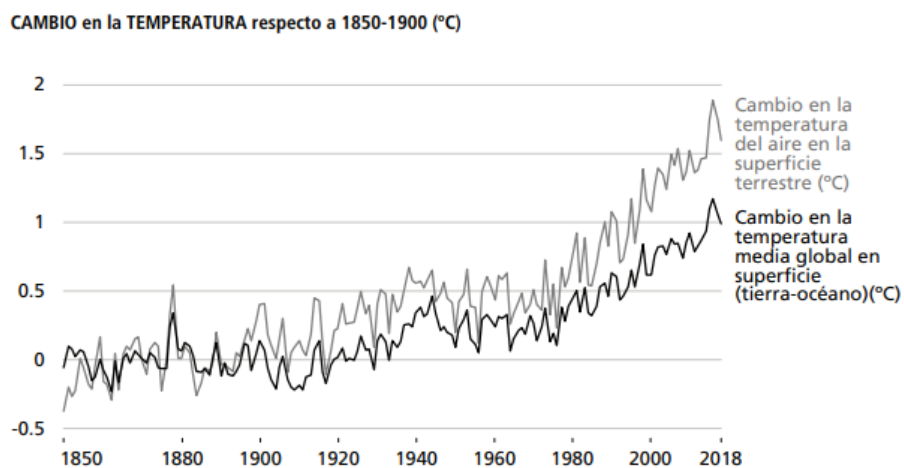
Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf

El uso excesivo de energías no renovables han empezado a generar estrés en el planeta, impidiendo su auto regeneración, creando así el llamado cambio climático en la Figura 4 se muestra el cambio de temperatura que ha tenido el planeta a partir del uso de combustibles fósiles (Masson-Delmotte et al., 2020).

Figura 4

Cambio en la temperatura respecto a 1850-1900 (°C)



Nota. Tomado de Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Calvo Buendía, E., Shukla, P., Slade, R., Connors, S., Van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., ... Malley, J. (2020). *El cambio climático y la tierra*. www.ipcc.ch

Energía solar fotovoltaica: Denominada así por que aprovecha los rayos del sol para generar energía eléctrica. Para ello usa células fotovoltaicas o semiconductores mismos que forman un flujo de electrones que pueden ser aprovechados para energía eléctrica (Schallenberg et al., 2008). Las ventajas que tiene son: fácil instalación, vida útil amplia, mantenimiento mínimo y no contaminan.

Energía eólica: La energía eólica es una variante de la energía solar, pues se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera y de las irregularidades de relieve de la superficie terrestre. Sólo una pequeña fracción de la energía solar recibida por la Tierra se convierte en energía cinética del viento y sin embargo ésta alcanza cifras enormes (Santamarta, 2004).

Energía geotérmica: aprovecha la energía térmica asequible proveniente del interior de la tierra, puede presentarse en, volcanes, aguas termales y aberturas que expulsan vapores y gases, donde fluidos de temperatura variable son usados para la obtención de energía eléctrica (Pichs-Madruga et al., 2011).

Energía hidroeléctrica: es aquella proveniente de grandes caídas de agua, en donde se aprovecha la energía potencial de caída la cual pasa por turbinas para así generar energía eléctrica, son las más representativas en cuestión de infraestructura y son usadas para satisfacer la necesidad de energía de una nación (Pichs-Madruga et al., 2011).

Energía oceánica: es aquella que aprovecha la energía térmica, cinética y potencial del agua del mar la cual es transformada a energía eléctrica, térmica o agua potable (Pichs-Madruga et al., 2011).

Meteorología

La meteorología es una rama interdisciplinaria de la física atmosférica que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, sus fenómenos y las leyes que lo rigen. El estado del tiempo, o tiempo meteorológico, hace referencia al conjunto de características que presenta la atmósfera en un lugar y momento específico. Todas estas variables, sus interacciones y sus manifestaciones tienen lugar en la tropósfera bajo la estratósfera. La meteorología evalúa el estado del tiempo en un instante actual, e intenta predecirlo en un futuro cercano (Lozano-Rivas, 2018).

Dentro de esta rama de la física se tiene diferentes variables climáticas, entre las principales tenemos: temperatura, radiación, precipitación, velocidad del viento, humedad, presión atmosférica, entre otros; la predicción de estos factores son indispensables para

actividades agrícolas, constructivas y para la supervivencia del ser humano, es por ello que se han creado diversos artefactos capaces de medir estas variables desde dispositivos análogos o manuales hasta la actualidad en donde son digitales.

La institución encargada de medir y monitorear las variables climáticas en el Ecuador es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los proyectos ingenieriles que requieren bases de datos hidrométricas e hidrológicas necesitan una continuidad de al menos 30 años con el objetivo de obtener una confiabilidad alta para su diseño, lo cual no es posible con la calidad de datos que proporciona el INAMHI, sin embargo, se puede recurrir a modelos estadísticos que ayuden al relleno y homogeneización de datos (Espinosa Yáñez & Pazmiño Dávila, 2020).

Instrumentos de medición

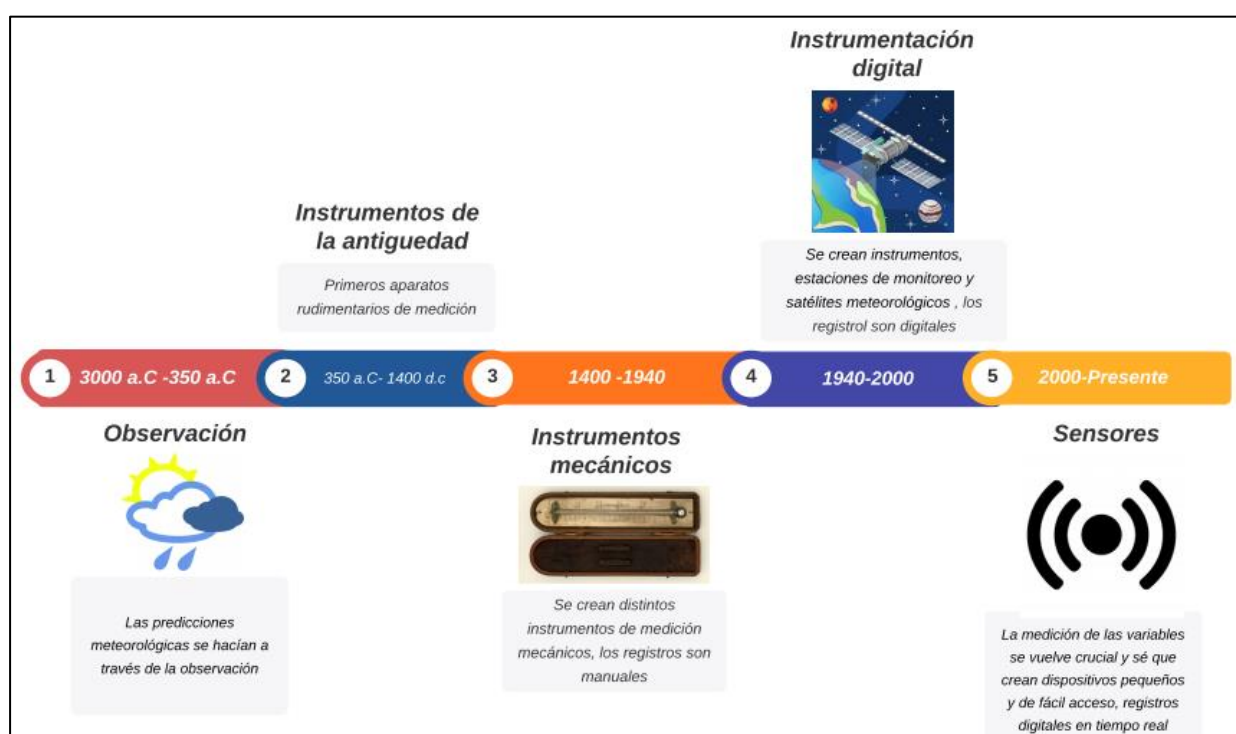
Como se muestra en la Figura 5 la línea de tiempo empieza en 3000 a.C. en donde la medición meteorológica se realizaba únicamente observando los patrones climatológicos locales. Con el paso del tiempo se vio la necesidad de crear una forma de predecir el clima ya que con ello se podría tener beneficios como: organizar correctamente las actividades diarias, agrícolas, entre otros. A partir de esto, se creó los primeros instrumentos rudimentarios, los cuales consistían en elementos simples como un envase para recolectar el agua lluvia, de los cuales se llevaban registros.

El avance de la civilización, permitió dar una mayor importancia a la climatología, ya que su desarrollo se veía influenciado por los fenómenos de la naturaleza, mismos que no podían ser controlados, por ello, desde 1400 hasta 1940 se crearon las primeras teorías del estudio del clima, así como también los primeros avances en instrumentación (higrómetro, termómetro, barómetro, anemómetro, etc). Posteriormente, la evolución tecnológica hace posible una tercera

generación de instrumentos, tales como satélites, estaciones meteorológicas, hidrológicas entre otros; mejorando así las predicciones de variables meteorológicas y sus registros. Finalmente, aparece la cuarta generación, misma que garantiza el monitoreo, predicción y análisis de los datos recolectados eliminando la intervención de personas con los artefactos (University of Waikato, 2018).

Figura 5

Línea temporal de instrumentos de medición meteorológica



Fuente: Elaboración propia a partir de (University of Waikato, 2018)

Variables climatológicas

- **Temperatura del aire:** Es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa (Cartagena Quimbiamba et al., 2015).
- **Radiación:** Es transferencia de energía por ondas electromagnéticas, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. La radiación es

un proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio. Todas las formas de radiación son producidas por cargas aceleradas (Inzunza, 2012).

- *Precipitación*: Es el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Dicho término comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha y la precipitación de la neblina. La unidad de medida es el milímetro (Cartagena Quimbiamba et al., 2015).
- *Velocidad del viento*: Esta variable es medida por un anemómetro y su unidad de medida es metros por segundo.
- *Humedad Relativa*: Es el cociente entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la cantidad que saturaría este aire a una temperatura dada. Sus valores pueden fluctuar entre 0% y 100%, donde el 0% significa aire seco y 100% aire húmedo saturado (Cartagena Quimbiamba et al., 2015).
- *Presión atmosférica*: Para entender la extensión vertical de la atmósfera, se puede hacer examinando los cambios de presión con la altura. La presión atmosférica es el peso de la masa de aire sobre la superficie de la Tierra (Inzunza, 2012).

Psicrometría

El término psicrómetro está compuesto por: el término latino "psychro" que significa "producir frío" y "metro", "medir", lo cual se traduce como un dispositivo que sirve para "medir la refrigeración". Al agregar el sufijo "ía" se transforma en "psicrometría", misma que se entiende como "la ciencia que estudia las propiedades del aire húmedo (una mezcla de aire seco y vapor de agua) y el proceso (secado, humidificación, enfriamiento, calentamiento) en el cambio de temperatura o contenido de vapor de agua de la mezcla" (Britto, 2010).

Humedad absoluta

Se define como la relación entre masa de vapor de agua y masa de aire seco (Zecchin Chiaia, 2021).

$$\omega = \frac{\text{masa}_{H_2O}}{\text{masa}_{\text{aire seco}}} = \frac{m_w}{m_a} \dots (1)$$

Al utilizar la ley de gases ideales, se tiene:

Masa de agua

$$m_{H_2O} = \frac{P_v * V * M_v}{R_m * T} \dots (2)$$

Masa de aire seco

$$m_{\text{aire seco}} = \frac{P_a * V * M_a}{R_m * T} \dots (3)$$

Para finalmente obtener que la fórmula de humedad absoluta es:

$$X_w = \omega = \frac{18}{29} * \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \dots (4)$$

Donde, P_v es la presión de vapor y P_{atm} es la presión de la atmósfera.

Humedad específica

Se tiene por la relación entre la masa de vapor de agua y la masa total de aire húmedo (Zecchin Chiaia, 2021).

$$\gamma = \frac{m_w}{m_w + m_{\text{aire seco}}} \dots (5)$$

Humedad relativa

Se la define como la relación de la cantidad de vapor de agua contenida en una cantidad de masa de aire, respecto a la masa de vapor de agua saturado (Zecchin Chiaia, 2021).

$$\phi = \left(\frac{m_w}{m_w^{sat}} \right) T = \frac{p_v}{p_s} \dots (6)$$

Donde, p_v es la presión parcial del agua en el aire, p_s es la presión de saturación.

Volumen específico

Se entiende como la relación entre el volumen y la masa de aire seco (Britto, 2010).

$$V = \frac{v}{m_{aire\ seco}} \dots (7)$$

Entalpía

A la entalpía de aire húmedo se la entiende como la combinación de las entalpías de aire seco y vapor de agua, por lo tanto su valor está dado por la sumatoria de las mismas (Del Cano, 2019).

$$h = h_{da} + wh_g \dots (8)$$

Donde, h_{da} es la entalpía del aire seco y h_g la entalpía del vapor de agua.

Entalpía específica de aire seco

$$h_{da} = 1,006 * t \dots (9)$$

Entalpía específica del vapor saturado

$$h_g = 2501 + 1,86t \dots (10)$$

Finalmente como aproximación se tiene que la entalpía es:

$$h = 1,006 * t + w(2501 + 1,86 * t) \dots (11)$$

Donde, t es la temperatura del aire seco y w es la humedad absoluta.

Entalpía de agua condensada

Según Del Cano (2019), está dada por:

$$h_{w2} = 4,190 * t \dots (12)$$

Caudal másico de agua condensada

Es la cantidad masa de agua por unidad de segundo (Zecchin Chiaia, 2021).

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{as}(W_1 - W_2) \dots (13)$$

Donde, \dot{m}_{as} es el caudal másico de aire seco, W_1 es la humedad absoluta del aire de entrada y W_2 la humedad absoluta del aire de salida.

Potencia de refrigeración requerida

Es la cantidad de Watts requeridos para que la condensación de agua se realice.

$$q_2 = \dot{m}_{as}[(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2)h_{w2}] \dots (14)$$

Donde, h_1 es la entalpía del aire de entrada; h_2 es la entalpía del aire de salida y h_{w2} es la entalpía de agua condensada.

Punto de rocío

Es el valor mínimo de temperatura de aire para que inicie la condensación de vapor de aire (Acosta Rodríguez & Reina Riaño, 2019). A continuación se presenta su fórmula (Linsley et al., 1988):

$$T_d = T - \{(14,55 + 0,114T)X + [(2,5 + 0,007T)X]^3 + (15,9 + 0,117T)X^{14}\} \dots (15)$$

Donde, T es la temperatura del aire en °C y $X = 1 - \frac{HR}{100}$, donde HR es la humedad relativa en porcentaje (%).

Análisis estadístico de variables climatológicas

El análisis de series temporales consiste en modelar la base de datos obtenida para conocer su tendencia sea esta lineal, exponencial, curvilínea o periódica. Una vez obtenida la curva ideal del modelo se puede obtener su tendencia, autocorrelación y comportamiento, teniendo un alto grado de confianza, lo cual no se conseguiría con la base de datos inicial (OMM, 2018).

Series Temporales

Los datos recolectados de acuerdo al orden en que se efectuaron son conocidos como series temporales, mismas que son un caso específico de procesos estocásticos. En climatología, es esencial determinar el comportamiento histórico de la variable a ser analizada, es decir, su tendencia la cual puede ser lineal o no lineal. En general, se puede resumir que el objetivo de analizar las series temporales es para poder entender de qué manera la variabilidad de una serie temporal se distribuye en el tiempo (OMM, 2018).

Componentes

- *Tendencia*: es aquel elemento que representa el crecimiento o decrecimiento de la serie a través del tiempo (Murillo et al., 2003).
- *Estacional*: es el patrón de variación de la serie en un periodo de tiempo determinado (Murillo et al., 2003).
- *Ciclo*: es el cambio “en forma de onda alrededor de la tendencia” (Murillo et al., 2003).
- *Irregular*: es el conjunto de datos sobrantes de la serie (Murillo et al., 2003).

Clasificación

- *Serie Estacionaria*: se la conoce por permanecer constante en el tiempo, lo cual significa que la varianza y la media también serán constantes (Villavicencio, 2011).
- *Serie No Estacionaria*: es aquella que su tendencia es variable a lo largo del tiempo, es decir, si la media presenta cambios, la tendencia puede crecer o decrecer (Villavicencio, 2011).

Relleno de datos faltantes

Para poder realizar el relleno de datos faltantes de bases de datos meteorológicos, es fundamental acudir a la Guía de Prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018), en la cual se proporciona diversas metodologías para poder completar bases de datos (Ayala et al., 2017).

Uno de los métodos más conocidos y utilizados es el de regresión lineal, la cual permite obtener la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, representadas con las letras X e Y respectivamente y para una mejor denotación de la relación se utiliza una gráfica de dispersión. Finalmente, se calcula el coeficiente de correlación (r) para conocer la intensidad de relación entre las variables independiente y dependiente (Carrera-Villacrés et al., 2016).

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Donde n es el número de observaciones y r puede tomar valores entre -1 y 1 como se muestra en la Tabla 1 (Lind et al., 2008).

Tabla 1

Valores del coeficiente de correlación r

Niveles de Correlación	Negativa perfecta	Negativa fuerte	Negativa ponderada	Negativa débil	No existe correlación	Positiva débil	Positiva moderada	Positiva fuerte	Positiva perfecta
Valor	-1	$-1 < r < -0,5$	-0,5	$-0,5 < r < 0$	0	$0 < r < 0,5$	0,5	$0,5 < r < 1$	1

Nota. Tomado de Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (13th ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Modelos de Suavizamiento

Existen 3 tipos de suavización para series temporales: media móvil simple, media móvil ponderada y suavizamiento exponencial. Tienen como fin suavizar las variaciones causadas por los elementos irregulares de la serie (Villarreal, 2016).

- *Media móvil simple:* en este proceso se utiliza el promedio de los n valores de datos más recientes de la serie de tiempo como pronóstico para el siguiente período (Villarreal, 2016).

$$y_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-n-1}}{n}$$

Donde, F_t es el pronóstico para el período t y Y_t es la observación en el período t .

- *Media móvil ponderada:* en este proceso se escogen pesos diferentes para cada dato, posteriormente se calcula un promedio ponderado de los n valores más recientes (Villarreal, 2016).

$$K = 1 + 2 + 3 = 6$$

$$Pesos = \left\{ \frac{1}{6}, \frac{2}{6}, \frac{3}{6} \right\}$$

- *Suavizamiento exponencial:* en este proceso se realiza un promedio ponderado de datos pasados de la serie para obtener un pronóstico (Villarreal, 2016).

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

Donde α es la constante de suavización y su valor debe disminuir el error del pronóstico (Villarreal, 2016).

Procesos lineales estacionarios

Proceso de Autorregresión

La autorregresión es utilizada para analizar series de tiempo en una regresión lineal del valor de una serie respecto de uno o más valores preliminares de la serie, también es conocida como autocorrelación (OMM, 2018).

Modelo de ARIMA

La combinación de autorregresión y media móvil se conoce como media móvil autorregresiva (ARMA). El modelo ARMA que no permite la estacionariedad se conoce como modelo autorregresivo integrada de media móvil (ARIMA) (OMM, 2018). Las series al ser no estacionarias se deben diferenciar las veces que sean necesarias. La diferenciación se representa con el símbolo ∇ . Por lo tanto, se tiene la siguiente fórmula:

$$\nabla y_t = y_t - y_{t-1}$$

Si aplica el operador de diferencia tantas veces como sea necesario, se eliminarán algunos componentes de tendencia, pero es posible que aún existan algunos elementos de patrón en la serie. Para caracterizar el resto de la regularidad, el patrón se integra en una serie separada en lugar de la serie original. Por lo tanto, si agrega el proceso de promedio móvil regresivo (p, q) a la serie diferencial de n veces, el modelo resultante se denomina "proceso de promedio móvil autorregresivo integrado (p, d, q)". Por lo tanto, existe la siguiente expresión general para el modelo ARIMA (p, d, q) (Arnau Gras, 2001):

$$\phi_p(B)\nabla^d y_t = \theta_q(B)a_t$$

O,

$$\phi_p(B)\nabla(B)y_t = \theta_q(B)a_t$$

En donde a_t es un procedimiento de ruido blanco, que se le conoce como un caso simple de un proceso estocástico, donde los valores son independientes y se distribuyen a lo largo del tiempo. Su media es cero y su varianza igual (Villavicencio, 2011).

Prueba de normalidad

Existen dos métodos conocidos para evaluar la normalidad de una serie de datos: Shapiro-Wilk, utilizada para series menores a 50 datos; y Kolmogorov-Smirnof, utilizada para serie de datos mayores a 50 datos.

Shapiro-Wilk

Dado X como una muestra aleatoria, el estadístico de prueba viene dado por (Muñoz Flores et al., 2019):

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

En donde:

$$b = \sum_{i=1}^n a_i [x_{(n-i-1)} - x_i]$$

$$a_i = m'V^{-1}(m'V^{-1}m)^{-\frac{1}{2}}$$

Donde, $[x_{(n-i-1)} - x_i]$ es la diferencia continua que se obtiene restando del principio al final, del segundo al antepenúltimo y así sucesivamente. a_i es el coeficiente tabulado en la tabla

de Shapiro. $m = (m_1, \dots, m_n)$ es la media de las estadísticas ordenadas de variables aleatorias independientes y distribuidas uniformemente extraídas de la distribución normal. V es la matriz de covarianza de este estadístico de orden. Si $W \leq W_{\alpha,n}$, donde $W_{\alpha,n}$ es el punto crítico tabulado en (Shapiro & Wilk, 1965), se rechaza H_0 .

Kolmogorov-Smirnof

Dado X_1, X_2, \dots, X_n elementos de una serie, que tiene una distribución acumulada $F(x_{(i)})$, con $1 \leq (i) \leq n$ y Z_i sea la distribución probabilística acumulada de una distribución normal estándar (Muñoz Flores et al., 2019). El estadístico de prueba viene dado por (Kolmogorov & A., 1933):

$$D = \max(D', D)$$

En donde,

$$D' = \max[F(x_{(i)}) - Z_i]$$

$$D = \max[Z_i - F'(x_{(i)})]$$

H_0 se rechaza si $D \geq d$.

Coefficientes para la prueba de normalidad

Para conocer la normalidad de una serie temporal también se puede aplicar el coeficiente de asimetría y la curtosis:

Coefficiente de asimetría: mide la asimetría existente en la distribución con respecto a la media. Puede tomar valores de 0 cuando es simétrica, cuando es mayor a 0 positiva, cuando es menor a 0 es negativa y también puede ser bimodal es decir dos picos (Lind et al., 2008), dicho de otra manera, cuando el coeficiente de asimetría es diferente de 0, la distribución de datos no está sesgada en ninguna dirección. Una distribución sesgada positivamente tiene una cola larga a la

derecha en la dirección positiva y una distribución sesgada negativamente tiene una cola larga a la izquierda en la dirección negativa (Cain et al., 2016). La fórmula propuesta por Pearson es (Lind et al., 2008):

$$As = \frac{3(\bar{x} - Mediana)}{\sigma}$$

Y la fórmula usada en sistemas computacionales es (Lind et al., 2008):

$$As = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{(x - \mu)}{S} \right)^3$$

Curtosis

Es la variable que mide el comportamiento de la gráfica de frecuencias, por tanto, indica la cantidad de datos alejados de la media. Se la puede definir por la fórmula (Westfall, 2014):

$$k = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} * \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{S^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

$$\begin{cases} k < 0 & \text{Curva platicúrtica} \\ k = 0 & \text{Curva mesocúrtica} \\ k > 0 & \text{Curva leptocúrtica} \end{cases}$$

Donde, x es el valor de las observaciones de la variable de estudio, μ la media, σ la desviación estándar.

Prueba de Ljung Box

La prueba demuestra si los K coeficientes de auto correlación son iguales a cero, probando la hipótesis de independencia (Rijal, 2019), permitiendo identificar la aleatoriedad de los residuos y la adecuación del modelo (Adedia et al., 2018).

$$H_0 = \text{ruido blanco}$$

$$H_1 = \text{No es ruido blanco}$$

$$Q(\hat{r}) = n(n + 2) \sum_{k=1}^m (n - k)^{-1} * \hat{r}^2(k)$$

Validación de datos

De acuerdo a la OMM (2018) la validación de datos tiene como objetivo comprobar la autenticidad y exactitud de la serie, para ello recomiendan utilizar un sistema de identificación el cual permita conocer el estado de la base de datos. Se sugiere utilizar procesos de control y gestión de calidad, para lo cual se puede aplicar una serie de técnicas como representación de datos en gráficos, mapas y un resumen de los mismos, con el fin de realizar exámenes visuales para detectar anomalías y así realizar correcciones a la base de datos original.

Análisis Lateral

Diagrama de caja

Es una representación gráfica de distribuciones de datos, diseñada para tomar decisiones e inferir esas distribuciones. Esta expresión se compone de cinco factores: el valor más pequeño, el primer cuartil (Q1), el segundo cuartil (Q2), el tercer cuartil (Q3) y el valor más grande. Como puede ver, los datos se dividen en cuatro grupos. Esta expresión muestra la simetría o asimetría de la distribución (Devore, 2012).

Software R

R es un entorno y lenguaje de programación que nos permitirá realizar análisis y gráficos estadísticos permitiendo programar procedimientos y aplicaciones de acuerdo a las necesidades del usuario (Boca, 2018).

Sistema IoT

El internet de las cosas es una de las tecnologías emergentes más usadas a nivel mundial, se lo puede definir como la dotación de conectividad a internet a dispositivos diseñados para medir parámetros físicos como: fuerza, distancia, temperatura, caudales, entre otros (Pardal Garcés, 2017).

La tecnología de comunicación IoT presenta una serie de ventajas como:

- Bajo consumo de energía
- Bajo coste de conectividad
- Costos de fabricación bajos
- Rangos de cobertura altos hasta de 60 Km

Dotar conexión a distintos elementos abre una gran posibilidad de aplicaciones para este tipo de tecnología, entre las cuales tenemos:

- *Ciudades inteligentes*: son aquellas que buscan un desarrollo sostenible económico, social y ambiental a través del uso de las tecnologías de la información de las comunicaciones (TICs). Podemos mencionar algunos de los sectores en donde su aplicación beneficiaría a la población, entre ellos: manejo del agua, electricidad, gas, tráfico, iluminación, movilidad urbana, gestión de residuos entre otros.
- *Industria*: estos sistemas permiten el monitoreo de datos en tiempo real de cualquier estación de la industria, subiéndolos a la nube “big data” para acelerar los procesos de análisis y toma de decisiones.
- *Salud*: permite la implementación de dispositivos de control a pacientes admitiendo a seguimientos más detallados (Pardal Garcés, 2017)

Estos sistemas pueden usar dos tipos de tecnologías existentes: a) Cableadas, forma más sencilla de comunicar sensores y actuadores a un sistema de control, su velocidad de transmisión

es superior; b) Inalámbricas, estas requieren un estudio de parámetros (Valenzuela Molina, 2018) como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Características para selección de tecnología inalámbrica

	LORAWAN	ZIGBEE	WIFI	BLUETOOTH
	433 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Frecuencia	868 MHz (Europa) 915 MHz (Norte América)		5 GHz	
Velocidad de transmisión	0,3 – 50 kbps	250 kbps	600 Mbps	1 Mbps
Rango de cobertura	2-15 zonas de baja densidad	10-75 m interior	50 m	50 m interno
	2-5 zonas densas	400 m exterior		150 m exterior
Modo de conexión	Protocolo Lora y LoraWan	Red conformada por coordinador, routers y receptores finales	Requiere un dispositivo con acceso a Red	
Consumo de energía	Bajo	Muy bajo	Alto	Bajo

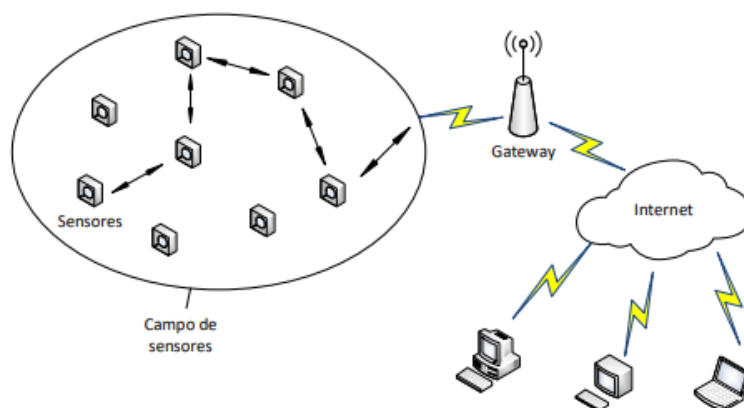
Nota. Recuperado de Valenzuela Molina, P. (2018). *Diseño de un sistema de sensores y gestión inteligente para el Campus Sur de la UPM*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

Partes del sistema

El sistema trabaja con un grupo de partes los cuales crean una ramificación estrellada como se presenta en la Figura 6.

Figura 6

Representación de las partes del sistema



Nota. Tomado de Gómez Seguro, J. (2019). *Evaluación de tecnologías y servicios IoT orientados a las ciudades inteligentes* [Universidad de Cantabria].

Sensores

Son dispositivos diseñados capaces de detectar distintas magnitudes físicas o químicas de su entorno, transformándolas con un transductor en señales eléctricas (Castrillejo García, 2020). Existen dos tipos de sensores: los diseñados para interiores de baja resistencia ante agentes externos y para exteriores los cuales tienen una resistencia más alta. Estos a su vez se dividen en: sensores para meteorología, acelerómetros, sensores de movilidad, sensores acústicos, detectores de sustancias, alarmas, entre otros (Gómez Seguro, 2019).

Usualmente son usados como transductores, pero en la actualidad al juntarlo con una fuente de alimentación y un módulo de comunicación inteligente se puede llegar a tener independencia, permitiendo la interacción entre dispositivos semejantes creando una red permitiendo crear redes más complejas (Gómez Seguro, 2019).

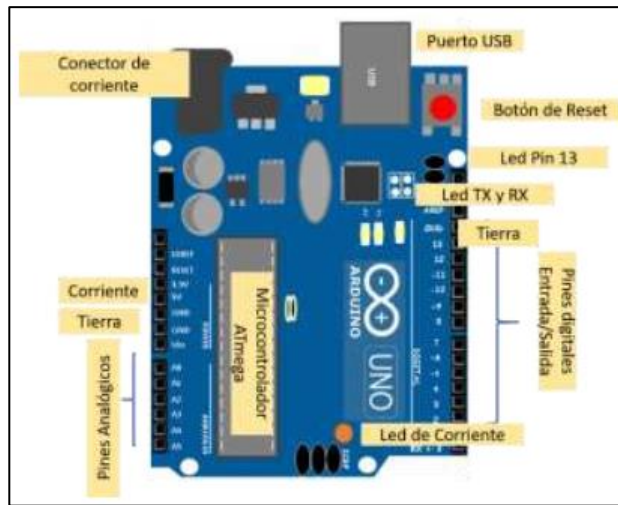
Arduino

Arduino es una placa o plataforma de hardware libre basada principalmente en un microcontrolador, y un entorno de desarrollo (software), diseñado para facilitar el uso de la electrónica en los diversos proyectos multidisciplinarios. Arduino es una tecnología con el uso de directo de hardware y software. En cuanto a hardware se compone por varias partes e interfaces las cuales esta reunidas en una placa de circuito (Vital Carrillo, 2021).

Componentes

Los componentes de una placa Arduino Uno, como se muestra en la Figura 7, son (Vital Carrillo, 2021):

- *Puerto USB*, que se utilizan para la energía de la placa.
- *Botón de reinicio*, que tiene como función resetear el microcontrolador.
- *LED TX y RX*, es para verificar si existe comunicación entre la computadora y la placa.
- *LED (Pin de referencia analógica)*, es un activador que se encuentra en forma predeterminada en la placa.
- *Pines Digitales (13)*, se utilizan con entrada y salida en la placa de Arduino.
- *LED de corriente*, es para verificar que la placa reciba energía en forma correcta.
- *Microcontrolador ATmega*, en el circuito principal de la placa.
- *Pines analógicos*, son clavijas que funciona como entradas analógicas.
- *Pin GND*, en el pin para la roma de la tierra.
- *Pin 5 Voltios*, para otorgar la corriente a los circuitos con los que trabaja la placa.
- *Conector de corriente*, puede trabajar con voltajes que van desde 7 Voltios hasta 12 Voltios.

Figura 7*Parte de placa Arduino*

Tomado de *Introducción de Arduino* (p.4-8), por M. Vital Carrillo, 2021.

Gateway

Se define como un enlace para la transmisión de datos de una red a otra, permitiendo el envío de información a cualquier lugar (Gómez Seguro, 2019).

Transferencia de datos a la nube

Para la transferencia de datos es necesario contar con un módulo que sirva de conexión entre cualquier microcontrolador y una red. Se trata de un chip integrado con conexión WiFi y compatible con el protocolo TCP/IP.

Sistema de control centralizado

Dispositivo que controla la red, es decir recibe toda la información que viaja dentro de la red para su respectivo análisis, la información debe ser manejada por un profesional el cual pueda presentar los datos de forma ordenada y sencilla con el fin de facilitar la toma de decisiones (Gómez Seguro, 2019).

Lora WAN (Long Range Wide Area Network)

Tecnología inalámbrica patentada regulada por Lora Alliance, dirigida a dispositivos integrados a una red regional, nacional o mundial. Su estrategia de funcionamiento de espectro ensanchado permite al Gateway adaptarse a escenarios variables optimizando la manera de intercambio de datos entre dispositivos, transmitiendo a distintas frecuencias como 433 MHz, 866 MHz y 915 MHz, obteniendo así menores interferencias, permitiendo penetrar obstáculos con mayor facilidad y alcanzar largas distancias, con un consumo mínimo de energía (Pardal Garcés, 2017).

Su topología es de tipo estrella conformada por: sensores, Gateway, servidor de red y aplicaciones digitales para la interpretación de datos. La seguridad de los datos es diversa presentado 3 capas de encriptación como son: Unique Network key (EUI64) and ensure security on network level, Unique Application key (EUI64) ensure end to end security on application level, y, Device specific key (EUI128) (Valenzuela Molina, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

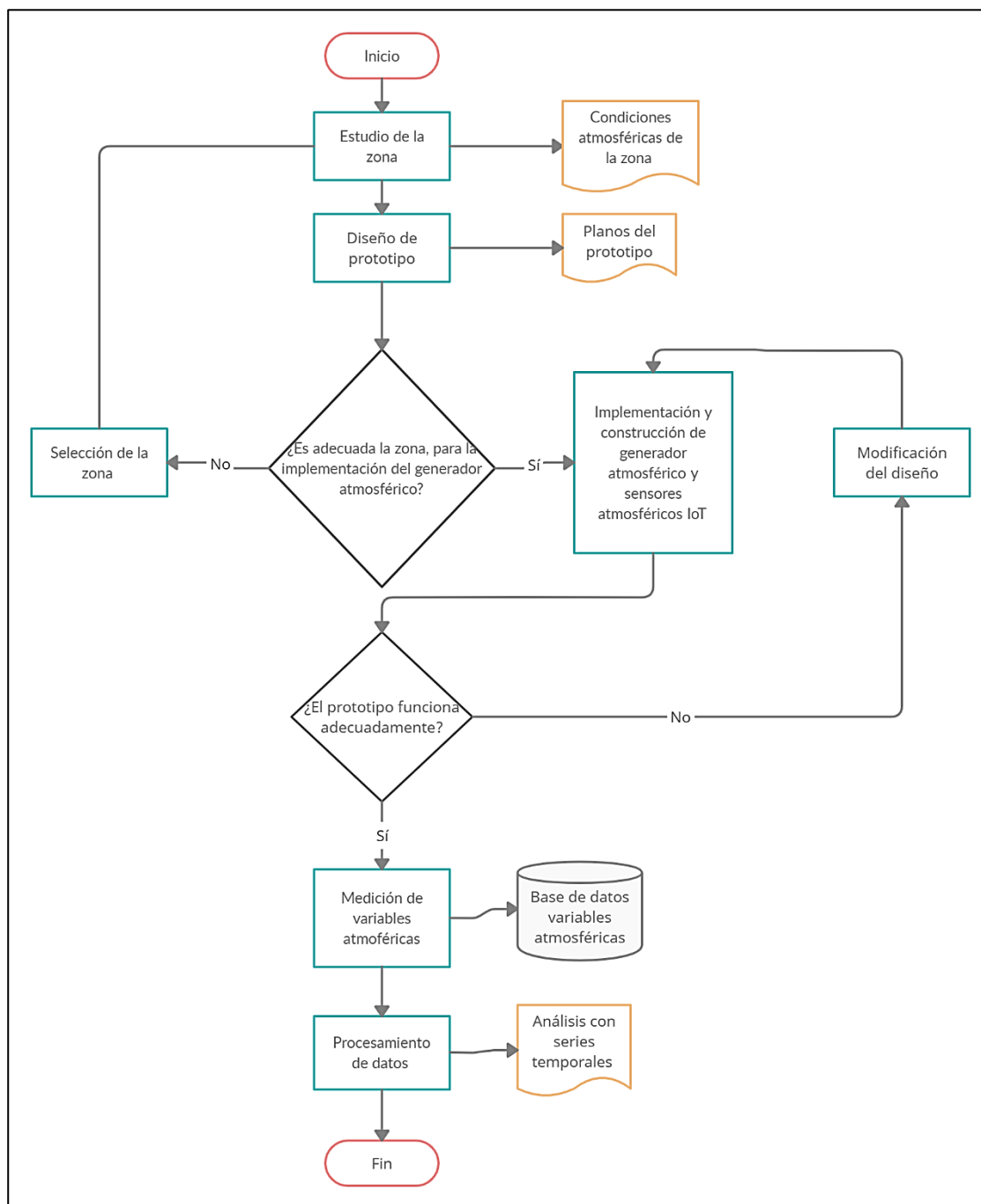
En el presente proyecto se utilizó la investigación cuantitativa ya que se encarga de “recopilar y analizar datos que están estructurados y pueden representarse numéricamente. Uno de los objetivos centrales es construir mediciones precisas y confiables que permitan el análisis estadístico” (Goertzen, 2017). Al mismo tiempo, se utilizó una investigación bibliográfica para su sustento teórico.

Además se optó por un enfoque iterativo e incremental con el fin de crear un prototipo funcional para cumplir los objetivos planteados. Los resultados de las pruebas se contrastaron con situaciones reales en condiciones óptimas (Rodríguez, 2017).

En el proyecto se desarrolló un sistema móvil, por lo cual está dirigido a ser aplicado en cualquier zona del Ecuador. Éste se divide en 3 fases: la primera, se recolectó los datos meteorológicos sobre la zona de estudio, mismos que sirvieron para la segunda fase, la cual consistió en elaborar el diseño del prototipo del generador atmosférico. Finalmente, en la tercera fase se obtuvieron los respectivos datos meteorológicos para su análisis estadístico. En la Figura 8 se presenta el diagrama de flujo en el cual se muestra el proceso general de todo el proyecto.

Figura 8

Diagrama de flujo del proyecto



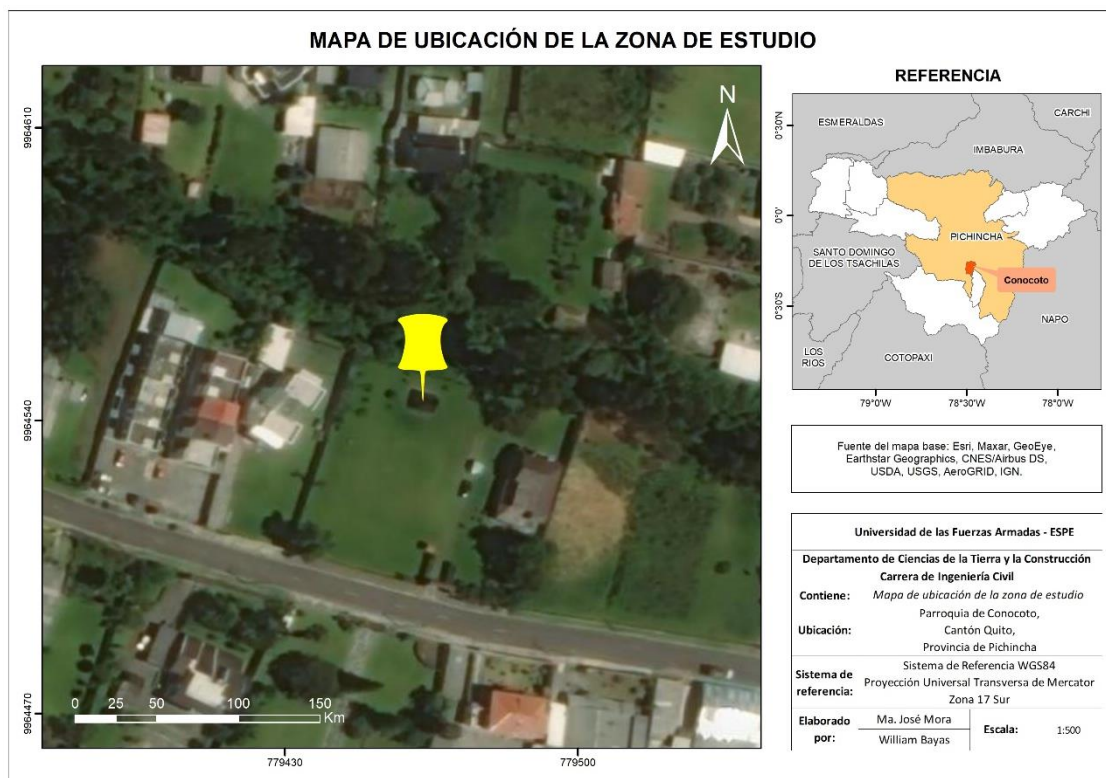
Fase 1: Descripción de la zona de estudio

Conocoto proviene de la palabra quichua “Cunugcutu”, misma que está conformada por “Cunug” y “Cutu” las cuales significan “Abrigada” y “Loma”, por lo cual era conocida como Loma Abrigada. Conocoto es una de las parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito, perteneciente al cantón Quito, provincia de Pichincha (GAD Parroquial de Conocoto, 2015).

De acuerdo al GAD Parroquial de Conocoto limita al norte con la ciudad de Quito y la parroquia de Cumbayá; al sur con la parroquia de Amaguaña y el cantón Rumiñahui; al este con las parroquias de Guangopolo y Alangasí y el Cantón Rumiñahui; y al oeste con la ciudad de Quito. Tiene una población de 82 072 habitantes (INEC, 2010) y posee una superficie 51,46 km² . En cuanto al clima tiene una temperatura que fluctúa entre 8°C y 26°C, teniendo como temperatura media anual 17°C (GAD Parroquial de Conocoto, 2015), la radiación solar tiene un valor de 2,2 KWh/m²/día (CIE, 2008) y la humedad relativa es del 66,90% como promedio anual de los últimos 20 años, dato obtenido de mediciones de la estación meteorológica IASA. En la Figura 9 se muestra la localización del punto de estudio.

Figura 9

Mapa de localización



Se analizó los valores promedios de las variables meteorológicas de la zona de estudio como se muestra en la Tabla 3, las cuales son: temperatura del aire, radiación solar y humedad relativa, además de la localización y relieve de la zona, con el fin de aprovechar los recursos naturales de la zona y proceder a realizar un diseño óptimo.

Tabla 3*Resumen zona de estudio*

LOCALIZACIÓN		
Hemisferio	Zona 17 sur	
Latitud	0°19'14,36"	Grados, minutos, segundos
Longitud	78°29'21,40"	Grados, minutos, segundos
Altitud	2558	msnm
CONDICIONES METEOROLÓGICAS		
Temperatura media	17	°C
Radiación Solar	2,2	KWh/m ² /día
Humedad Relativa	66,90	%

Nota. Elaboración propia con datos del CIE, INAMHI y estación meteorológica IASA

Fase 2: Diseño e implementación

Sistema de monitoreo

Para el circuito de monitoreo se utilizó Arduino Uno, el cual contiene la respectiva programación específica para cada tipo de sensor. La fuente de energía que se empleó para este sistema está conformada por paneles solares y una batería; la primera será la principal fuente y la segunda funcionará en caso de emergencia.

El criterio para la selección de los sensores fue cubrir la mayor cantidad de variables meteorológicas considerando los rangos de medición, protocolos de comunicación y facilidad de obtención de los sensores y costos (Gómez García & Quinteros Carabalí, 2020). Para el proyecto se utilizó los sensores que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4*Tipos de sensores meteorológicos*

Variable	Modelo	Protocolo de Comunicación	Unidad	Exactitud	Rango de Medición
Presión	BME280	I2C	hPa	±10	-
Humedad	BME280	I2C	%	±5%	0-100%
Temperatura	BME280	I2C	°C	±0,5	-9°C – 65°C
Nivel de líquido	e-tape liquid level- PN-121100215TC-12	Male Crimpflex Pnis	*	25 mm	0-75 cm
Velocidad del viento	Anemómetro wind speed sensor W/Analog Voltage Output	-	m/s	1 m/s	0,2-50 m/s
Nivel de Visibilidad	MiniOFS	5-wire cable	km	+5	20 m -4000 m
Fecha y hora	DS3231	I2C	-	-	-

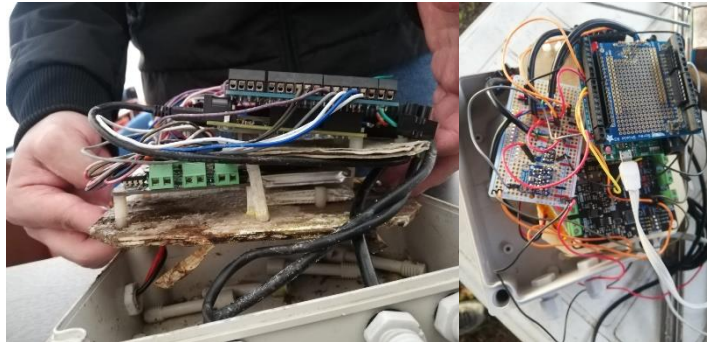
Tomado de *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático* (p.57), A. J., Gómez García & J. A., Quinteros Carabalí, 2020, Universidad Central del Ecuador.

Se utilizaron, adquirieron, diseñaron y ensamblaron varios sensores en la Universidad de Berna (Suiza) para la recopilación de datos. El proyecto actual se beneficia de la cooperación de los profesores miembros de dicha institución.

Debido al uso que ha tenido el sistema de monitoreo se realizaron reparaciones y adecuaciones para su instalación como se muestra en las Figuras 10, 11 y 12 respectivamente. Adicionalmente, se actualizó el código con la ayuda de un docente de la Universidad de Berna (Figura 13).

Figura 10

Estado inicial de los sensores

**Figura 11**

Sensores readecuados

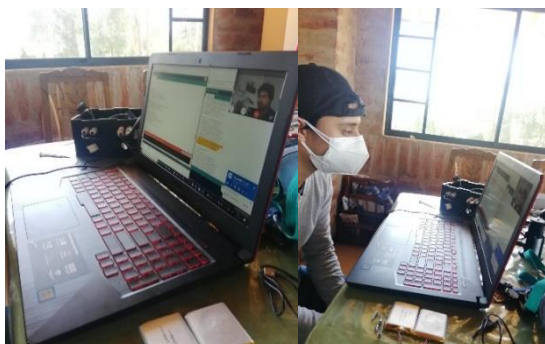
**Figura 12**

Instalación de sensores



Figura 13

Actualización de código

**Generador atmosférico**

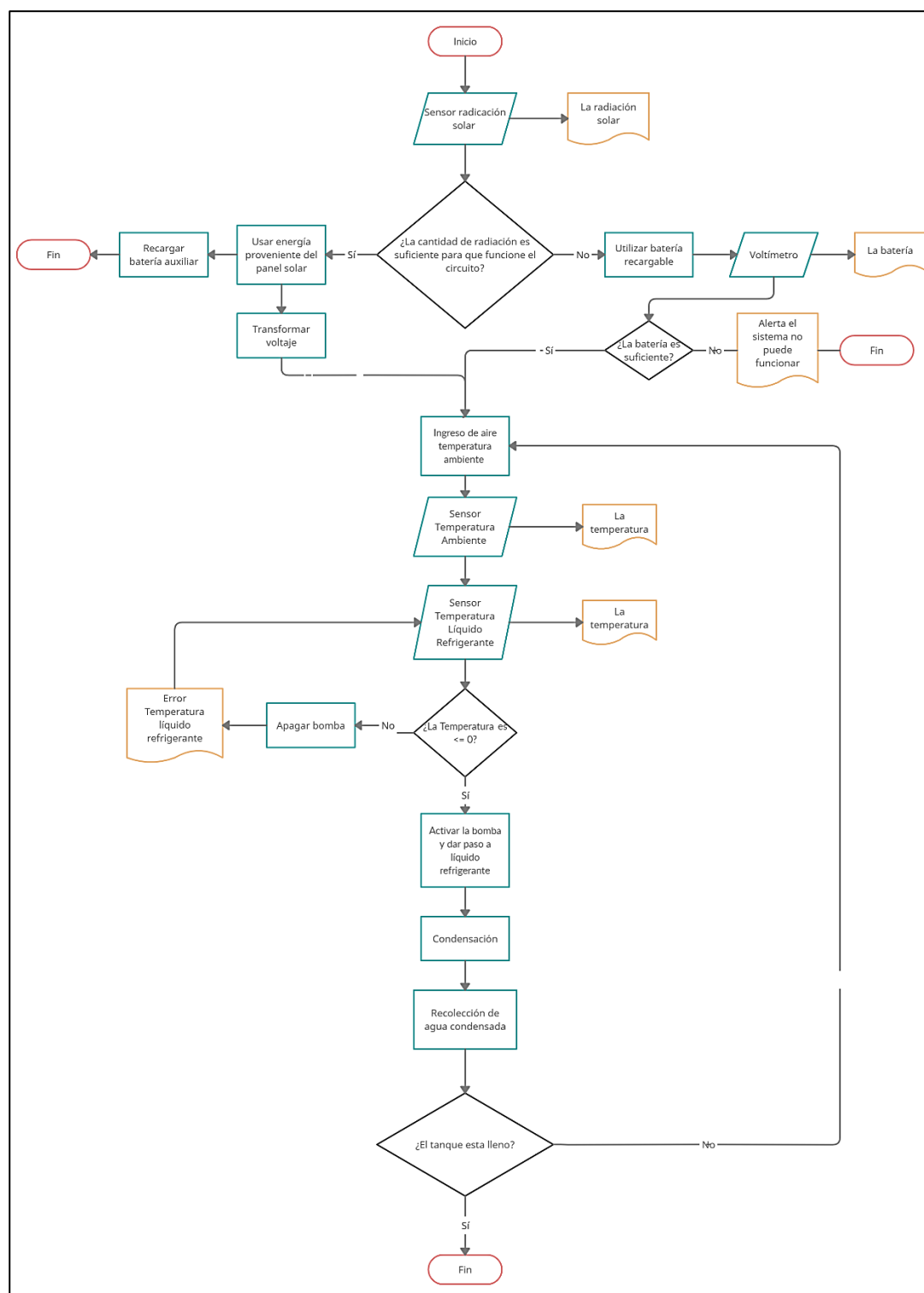
La recolección de agua del aire es una estrategia prometedora para la producción de agua dulce, y es particularmente deseable para áreas que carecen de acceso directo a agua limpia (Wang et al., 2019). El tipo de generador atmosférico que se diseñó en el presente trabajo fue del tipo de superficies enfriadas. Para el diseño se consideró: un esquema del funcionamiento del generador atmosférico, análisis meteorológico de la zona y cálculo del diseño del generador.

Esquema de trabajo

Como se muestra en la Figura 14, el funcionamiento del generador atmosférico empieza con la absorción del aire a temperatura ambiente, misma que es registrada por un sensor; el aire entra en una cámara de fría, la cual contiene un serpentín por el cual circula un líquido refrigerante con ayuda de una bomba. Un sensor registra la temperatura del líquido refrigerante controlando el encendido o apagado de la bomba. El aire al ingresar en esta zona fría, se condensa por la diferencia de temperaturas dando como resultado la generación de agua, misma que es trasladada a un tanque reservorio en donde también estará colocado un sensor de nivel de líquido para evitar su desbordamiento. El sistema está condicionado para que funcione con paneles solares como fuente de energía principal cuando existan condiciones óptimas de radiación solar, en caso contrario, funcionará una batería recargable.

Figura 14

Diagrama de flujo del generador atmosférico



Se realizó un análisis previo de las variables humedad y temperatura de la base de datos del IASA de los últimos 5 años donde se obtuvo los valores promedio por meses, los cuales sirvieron de referencia para la estimación de agua condensada producida.

Sistema de ventilación

Se utilizó 6 ventiladores de D=110 mm con una velocidad de 2000 rpm para poder tener obtener mayor cantidad de aire dentro de la cámara de condensación. Para calcular el caudal de aire que generan se utilizó las siguientes fórmulas.

Cálculo de velocidad lineal (Hibbeler, 2010a):

$$V = \frac{(2 * \pi * r * w)}{60} \dots (16)$$

Cálculo del área del ventilador (Hibbeler, 2010b):

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \dots (17)$$

Cálculo del caudal disponible (Chow, 1994):

$$Q = A * V \dots (18)$$

Sistema de Enfriamiento

Condensador

Para calcular la temperatura agua de salida se utilizó las fórmulas que se presentan a continuación (Zecchin Chiaia, 2021):

$$T_{\text{agua salida}} = \frac{Q_{\text{evaporado}}}{C_{\text{agua}}} + T_{\text{agua entrada}} \dots (19)$$

$$C_{\text{agua}} = \frac{\text{Flujo másico del refrigerante}}{\text{Calor específico}} \dots (20)$$

Donde:

$T_{\text{agua salida}}$: Es la temperatura de agua de salida, $Q_{\text{evaporado}}$: la potencia del sistema, C_{agua} : la potencia generada por el agua y $T_{\text{agua entrada}}$: la temperatura de agua de entrada.

Para calcular del área necesaria, se utilizó:

$$A = \frac{Q_e}{U * \Delta T_m} \dots (21)$$

Donde:

Q_e = Potencia del sistema, U =coeficiente de transferencia y ΔT_m = variación de temperatura del sistema, además se tiene que:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \dots (22)$$

$$\Delta T_1 = T_{\text{aire entrada}} - T_{\text{agua salida}} \dots (23)$$

$$\Delta T_2 = T_{\text{aire salida}} - T_{\text{agua entrada}} \dots (24)$$

$$A = \pi * d_{\text{tuberia}} * L_{\text{necesaria}} \dots (25)$$

Para el cálculo de las dimensiones condensador, se usó:

$$A = \pi * d_{\text{tuberia}} * L_{\text{necesaria}} \dots (26)$$

Para determinar el número de tuberías en sentido vertical se utilizó la fórmula:

$$n_{\text{vertical}} = \frac{\text{Altura}}{\text{distancia vertical entre tubos}} \dots (27)$$

Para determinar el número de tuberías en sentido horizontal se usó:

$$n_{horizontal} = \frac{Profundidad}{Separacion\ horizontal\ entre\ tubos} \dots (28)$$

Para calcular el número máximo de tuberías se utilizó:

$$n_{max} = n_{vertical} * n_{horizontal} \dots (29)$$

Y finalmente para el cálculo de la longitud total se usó:

$$L_{total} = n_{max} * ancho\ del\ intercambiador \dots (30)$$

Sistema de bombeo

Al ser necesaria una bomba para que el refrigerante circule por el sistema y sea así posible la condensación de agua, se requiere calcular la potencia que debe tener la misma. Por ello se utilizó la fórmula de Manning para el cálculo de las pérdidas por succión, descarga e impulsión (Chow, 1994).

$$hf = \left(\frac{Q}{0,28 * C * D^{2,63}} \right)^{1,852} * L \dots (31)$$

Posteriormente, se calculó la altura dinámica total.

$$ADT = H_o + hf_1 + hf_2 + hf_3 \dots (32)$$

Finalmente, se determinó la potencia del motor.

$$HP = \frac{Q * ADT}{76} * Eficiencia \dots (33)$$

Sistema de alimentación

Para determinar las cargas de corriente se utilizaron las siguientes fórmulas (CIE, 2008):

$$Carga\ diaria\ equivalente = Carga\ CA\ total\ diaria * Factor\ de\ inversor \dots (34)$$

$$\text{Carga máxima pico} = \text{cantidad} * \text{potencia} \dots (35)$$

$$\text{Carga máxima pico CA} = \text{Carga pico} + \text{Carga máxima pico} \dots (36)$$

Para la determinación pico del módulo, usó las fórmulas siguientes:

$$\text{Carga CC total diaria} = \text{Carga diaria} + \text{Cargas CC} \dots (37)$$

$$\text{Carga diaria corriente CC} = \frac{\text{Carga CC total diaria}}{\text{Tensión CC del sistema}} \dots (38)$$

Carga de corriente corregida

$$= \text{Factor de seguridad} * \text{Carga diaria corriente CC} \dots (39)$$

$$\text{Corriente pico del sistema} = \frac{\text{Carga corriente corregida}}{\text{Radiación solar}} \dots (40)$$

Para el dimensionamiento del módulo FV, se utilizó:

$$\text{Arreglo de módulos} = \frac{\text{Corriente pico del sistema}}{\text{Corriente pico}} \dots (41)$$

$$n = \frac{\text{Tensión nominal del sistema}}{\text{Tensión nominal del módulo}} \dots (42)$$

$$\text{Número total de módulos} = \text{Arreglo de modulos en paralelo} * n \dots (43)$$

Para el dimensionamiento del banco de baterías, se usó:

$$\text{Capacidad nominal banco de baterías} = \frac{\text{Carga CC total diaria}}{\text{Días de reserva}} \dots (44)$$

Capacidad corregida banco de baterías

$$= \frac{(\text{Capacidad nominal banco de baterías})}{\text{Profundidad de descarga}} \dots (45)$$

$$\text{Arreglo de baterias en paralelo} = \frac{\text{Capacidad corregida banco de baterías}}{\text{Capacidad nominal de la batería}} \dots (46)$$

$$n = \frac{\text{Tensión CC nominal del sistema}}{\text{Tensión nominal de la batería}} \dots (47)$$

$$\text{Número total de baterías} = \text{Arreglo de baterías en paralelo} * n \dots (48)$$

Fase 3: Recolección y análisis de datos

Recolección de datos

La obtención de datos se realizó mediante los sensores climáticos necesarios (nivel, anemómetro, radiación y humedad relativa), los cuales fueron instalados en placas de Arduino permitiendo la transferencia de datos en tiempo real.

Análisis de datos

Debido al corto periodo de tiempo y por ende la poca cantidad de datos recolectados por los sensores instalados en la zona de estudio, se procedió a utilizar los datos medidos en el proyecto de titulación denominado "Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático", el cual usó los mismos sensores pero instalados desde el año 2019 en la torre construida en el volcán Ilaló denominada Urku Yaku 2.0.

Análisis individual

Se realizó un análisis longitudinal y transversal por medio de series temporales y estadística descriptiva para conocer el comportamiento de las mismas utilizando el software R.

El procedimiento para analizar las bases de datos individualmente fue el siguiente:

- Validación de la serie
 - ⇒ Verificar el orden correcto de los datos.
 - ⇒ Rellenar de datos faltantes.

- ⇒ Depurar la base de datos (suavizamiento).
- Análisis de series temporales:
 - ⇒ Conversión de las series originales a series estacionarias
 - ⇒ Análisis de Estacionariedad (aplicación de diferencias).
 - ⇒ Modelo ARIMA
 - ⇒ Prueba de residuos
 - ⇒ Test de normalidad
 - ⇒ Test de Ljung Box
 - ⇒ Pronóstico

Análisis comparativo

Generalmente, las series temporales se comparan mediante mapas de recurrencia, en donde se encuentran “patrones” entre bases de datos, sin embargo, no se pudo aplicar este método debido a la poca cantidad de datos de los sensores instalados en la Torre Urku Yaku 2.0 ya que se requiere un mínimo de 10 años (Espinosa Yáñez & Pazmiño Dávila, 2020), por consiguiente, el análisis lateral se realizó mediante la utilización de diagramas de caja.

Presupuesto Referencial

En la Tabla 5 se presenta un presupuesto referencial de los componentes del prototipo de generador atmosférico diseñado.

Tabla 5*Presupuesto Referencial del Generador Atmosférico*

Nombre	Cantidad	Precio Referencial	Precio Total
Ventilador	6	\$15,00	\$90,00
Cámaras Protectoras	2	\$12,00	\$24,00
Condensador	1	\$40,00	\$40,00
Batería recargable	7	\$21,99	\$153,93
Regulador de batería	1	\$17,00	\$17,00
Panel solar	8	\$50,00	\$400,00
Transformador	1	\$70,00	\$70,00
Bomba para líquido refrigerante	1	\$40,50	\$40,50
Termostatos	2	\$10,00	\$20,00
Reservorio de agua	1	\$15,00	\$15,00
Total:			\$870,43

En cuanto al presupuesto referencial de los sensores para la estación meteorológica se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6*Presupuesto Referencial de los sensores*

Nombre	Cantidad	Precio Referencial	Precio Total
Temperatura (exterior)	1	\$11,88	\$11,88
Temperatura (interior) y humedad	1	\$8,50	\$8,50
Nivel de líquido	1	\$35,00	\$35,00
Velocidad del viento	1	\$66,90	\$66,90
Nivel de Visibilidad	1	\$2000,00	\$2000,00
Placa The Things Network	1	\$94,36	\$94,36
Protoboard	3	\$14,00	\$42,00
Panel solar + controlador	1	\$50,00	\$50,00
Total:			\$2308,64

Análisis ambiental

La propuesta de construcción del generador atmosférico no produce impacto ambiental alguno debido a que utiliza energía renovable (paneles solares) para su funcionamiento. Está planteado para que no genere contaminación, convirtiéndose en un diseño amigable con el medio

ambiente, pues no genera residuos líquidos, sólidos o gases que puedan afectar al suelo, aire, flora y fauna cercana a la instalación del equipo. Adicionalmente, el prototipo contará con una bomba silenciosa para evitar contaminación acústica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de generador atmosférico

Para el diseño del generador se realizó un análisis de los últimos 5 años de la temperatura máxima, mínima, media y humedad relativa como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Valores obtenidos para el diseño del sistema de ventilación

Mes	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Humedad relativa %
Enero	20,71290	7,69032	14,202	67,32258
Febrero	20,42857	8,51786	14,473	68,57143
Marzo	20,87097	8,61935	14,745	68,12903
Abril	20,30000	8,56667	14,433	68,30000
Mayo	20,73548	8,70968	14,723	67,64516
Junio	20,72667	8,40333	14,565	66,10000
Julio	20,31935	6,79032	13,555	65,58064
Agosto	21,39355	7,31290	14,353	65,06452
Septiembre	21,35667	7,32667	14,342	67,23333
Octubre	20,61290	7,67419	14,144	68,06452
Noviembre	20,81333	7,61667	14,215	68,70000
Diciembre	20,24194	8,51290	14,377	67,96774
Promedio	20,71	7,98	14,34	67,39

De acuerdo a la zona de estudio analizada, los componentes ideales del generador atmosférico fueron:

Sistema de ventilación

Usando las formulas descritas en el capítulo I, la Tabla 8 muestra los parámetros calculados para el sistema de ventilación.

Tabla 8

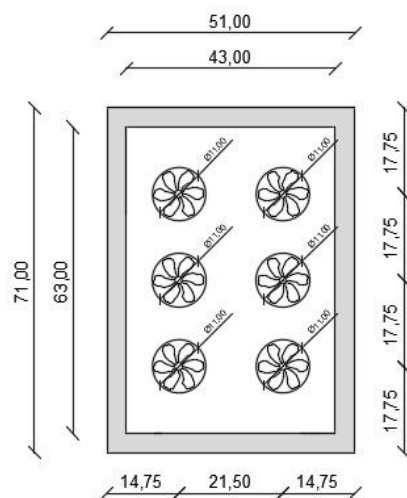
Valores obtenidos para el diseño del sistema de ventilación

Parámetro	Valor	Unidad	Fórmula
Radio	0,0550	m	
Velocidad	2000,0000	R.p.m	
Velocidad	11,5192	m/s	16
Área	0,0024	m ²	17
# ventiladores	6,0000	u	
Caudal	0,1642	m ³ /s	18

En la Figura 15 se muestra un esquema del sistema de ventilación.

Figura 15

Esquema del sistema de ventilación



Posteriormente, se procedió a calcular los parámetros psicrométricos, como se muestra en la Tabla 9, utilizando las fórmulas descritas en el capítulo I.

Tabla 9

Parámetros psicrométricos

Mes	Humedad absoluta T.media	Entalpia a Tmedia (h1) [kJ/kg]	Vol. Esp. a Tmedia [m ³ /kg]	Pto. Rocío [°C]	Temp. Objetivo [°C]	Hum.Abs Tobjetivo (w2) [kg ag/kg aire]	Entalpia a Tobjetivo (h2) [kJ/kg]	Entalpia agua Tobjetivo (hfw)[kJ/kg ag]	Caudal Másico de aire seco [kg/s]	Masa de agua condensada [kg/s]	Potencia requerida [kW]	Agua obtenida en 6 hrs [lt]	Agua obtenida en 12 hrs [lt]	Agua obtenida en 24 hrs [lts]
Ene	0,00676	31,39011	0,82206	8,27191	5,00000	0,00540	28,93475	20,95000	0,19975	0,00027	0,48476	5,86782	11,73564	23,4712
Feb	0,00702	32,29772	0,82316	8,80257	5,00000	0,00540	29,20979	20,95000	0,19948	0,00032	0,60922	6,98027	13,96054	27,9210
Mar	0,00709	32,77463	0,82404	8,96707	5,00000	0,00540	29,48585	20,95000	0,19927	0,00034	0,64830	7,27411	14,54822	29,0964
Abr	0,00697	32,14007	0,82298	8,70568	5,00000	0,00540	29,16919	20,95000	0,19953	0,00031	0,58620	6,76631	13,53262	27,0652
May	0,00704	32,59789	0,82390	8,84040	5,00000	0,00540	29,46352	20,95000	0,19930	0,00033	0,61784	7,06010	14,12020	28,2404
Jun	0,00680	31,84856	0,82314	8,34802	5,00000	0,00540	29,30316	20,95000	0,19949	0,00028	0,50192	6,03248	12,06496	24,1299
Jul	0,00632	29,59384	0,81963	7,26883	5,00000	0,00540	28,27811	20,95000	0,20034	0,00018	0,25973	3,98118	7,96236	15,9247
Ago	0,00660	31,12836	0,82228	7,91346	5,00000	0,00540	29,08800	20,95000	0,19970	0,00024	0,40243	5,17611	10,35221	20,7044
Sep	0,00682	31,66655	0,82253	8,38597	5,00000	0,00540	29,07684	20,95000	0,19963	0,00028	0,51106	6,12320	12,24639	24,4927
Oct	0,00682	31,45602	0,82196	8,37817	5,00000	0,00540	28,87588	20,95000	0,19977	0,00028	0,50950	6,12744	12,25488	24,5097
Nov	0,00691	31,77164	0,82229	8,58331	5,00000	0,00540	28,94794	20,95000	0,19969	0,00030	0,55756	6,51318	13,02636	26,0527
Dic	0,00691	31,93249	0,82275	8,58004	5,00000	0,00540	29,11236	20,95000	0,19958	0,00030	0,55653	6,50954	13,01909	26,0381
Prom	0,00684	31,71649	0,82256	8,42045	5,00000	0,00540	29,07878	20,95000	0,19963	0,00029	0,52042	6,20098	12,40196	24,8039

Sistema de enfriamiento

Condensador

En la tabla 10 se muestra los valores escogidos para el funcionamiento del condensador.

Tabla 10

Valores establecidos para condensador

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia	0,52	kW
Agua condensada	12,40	Lt
Flujo másico de agua	0,0003	kg/s
Flujo másico de aire húmedo	0,1996	kg/s
Temperatura de entrada	14,00	°C
Humedad	67,39	%
Presión	101,33	Kpa
Temperatura de rocío	5,00	°C
Temperatura de salida	4,00	°C
Humedad relativa	100	%
Temperatura ingreso refrigerante	3	°C
Flujo másico del refrigerante	0,5	kg/s

Basados en la información anterior se procedió a calcular el área necesaria para condensar el caudal de aire establecido, la Tabla 11 muestra los valores obtenidos.

Tabla 11

Valores iniciales condensador

Parámetro	Valor	Unidad	Fórmula
T agua salida	3,25	°C	19
A	0,63	m ²	17
Qe	520,42	W	
Ca	2,1	kJ/(s*°C)	18
U	200,00	W/(m ² *°C)	
ΔTm	4,11	°C	22
ΔT1	10,75	°C	23
ΔT2	1,00	°C	24
d tubería	0,02	m	
L_necesaria	15,52	m	

En la Tabla 12 se muestra la longitud total de tubería calculada y en la Figura 16 se muestra las vistas en elevación y en planta del condensador.

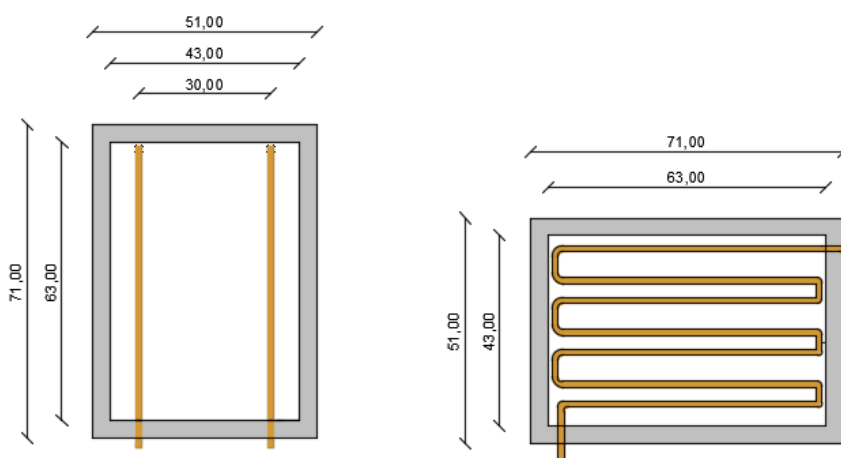
Tabla 12

Dimensiones y distribución condensador

	Parámetro	Valor	Unidad	Fórmula
Dimensiones del Contenedor	Altura	0,51	m	
	Profundidad	0,71	m	
	Ancho	0,51	m	
Distribución Vertical	Altura Condensador	0,41	m	
	Distancia Vertical	0,06	m	
	Profundidad Condensador	7	u	27
Distribución Horizontal	Distancia N_Horizontal	0,3	m	
	N_Max	2	u	28
	Ancho Intercambiador	14	u	29
Cálculo de Longitud de Tubería	L_Total	0,61	m	
	L_Curvatura	8,54	m	30
	L_Tubería	2,7	m	
		11,24	m	

Figura 16

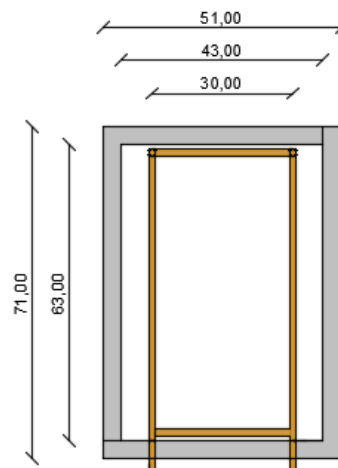
Esquema de condensador



Dado que $L_{necesario} = 15,52 \text{ m}$ es mayor a la $L_{calculado} = 11,24 \text{ m}$ se procedió a utilizar un condensador de forma rectangular con una longitud de 16 m, como se puede ver en la Figura 17.

Figura 17

Esquema de condensador



Bomba

Para el sistema de bombeo se tuvo como datos iniciales: Caudal inicial = 0,019 l/seg, $H_0 = 2,50 \text{ m}$, longitud de succión = 0,10 m, longitud de descarga = 18,5 m, el material de la tubería escogido fue PVC flexible, por lo tanto $C = 150$ y el diámetro utilizado fue de 12,7 mm, con estos valores se procedió a calcular las longitudes equivalentes por accesorios como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13*Longitudes equivalentes por accesorios*

Nombre	Diámetro mm	Número	Long. Equivalente m	Long. Eq. Total M
SUCCIÓN				
Entrada	12,7	1	0,22	0,22
Total:				0,22
DESCARGA				
Giro suave a 90°	12,7	6	0,25	1,50
Reducción	12,7	2	0,15	0,30
Total:				1,80

Y con ello se calculó finalmente la potencia requerida para bombear el líquido refrigerante (Tabla 14).

Tabla 14*Valores obtenidos para el diseño del sistema de enfriamiento*

Variable	Valor	Unidad	Fórmula
Pérdidas por succión	0,0010	m	31
Pérdidas por descarga	0,0622	m	31
Pérdidas por impulsión	0,0080	m	31
Altura dinámica total	2,57	m	32
Potencia del motor	1/4	HP	33

Sistema de alimentación

Para el sistema de alimentación fue necesario dimensionar el panel solar. Como datos iniciales se tuvo lo que se muestra en la Tabla 15, 16 y 17.

Tabla 15*Determinación de Cargas en Corriente Continua (12V)*

CC Artefacto	A1 Cantidad	A2 Potencia (W)	A3 Uso (horas/día)	A4 Energía (Wh/día)
Termostato	3	120	6	2160
Nivel de liquido	1	0,24	6	1,44
Ventilador	3	1,44	6	25,92
Total				2187,36

Tabla 16*Determinación de Cargas en Corriente Alterna (110V)*

CA Artefacto	A6 Cantidad	A7 Potencia (W)	A8 Uso (horas/día)	A9 Energía (Wh/día)	A10 Carga pico (Wh/día)
Bomba	1	130	6	780	0
Total				780	

Tabla 17*Determinación de Cargas Final*

A11 Carga CA t (Wh/día)	A12 Factor inversor	A13 Carga diaria equivalente (Wh/día)	A14 Carga máxima pico (vatios)	A15 Carga máxima pico (vatios)
780	1,20	936	130	130

En la Tabla 18 se muestran los cálculos realizados de las cargas totales para el dimensionamiento del sistema de alimentación.

Tabla 18*Corriente pico del modulo*

Símbolo	Variable	Valor	Unidad	Fórmula
B1	Carga diaria CC	2187,36	Vatios/hora/día	
B2	Cargas CC	936,00	Vatios/hora/día	
B3	Cargas CC t	3123,36	Vatios/hora/día	37
B4	Tensión CC del sistema	12,00	V	

B5	Carga diaria corriente CC	260,28	Ah	38
B6	Factor de seguridad	1,20		
B7	Carga de corriente corregida	312,34	Ah	39
B8	Radiación solar	2,20	kWh/día	
B9	Corriente pico del sistema	141,97	A	40

En la Tabla 19 se indican los resultados de los cálculos realizados para determinar el número de módulos con sus características mínimas y en la Tabla 20, el número de baterías a usar en el sistema, así como sus características.

Tabla 19

Dimensionamiento del Módulo FV

Símbolo	Variable	Valor	Unidad	Fórmula
C1	Corriente pico del sistema	141,97	A	
C2	Corriente pico (catalogo)	8,95	A	
C3	Arreglo de Módulos	15,86		41
C4	Arreglo de módulos en paralelo	15,00		42
C5	Tensión CC nominal del sistema	12,00	V	
C6	Tensión CC nominal del modulo	24,00	V	
C7		0,50		
C8	Número total de módulos	7,50		43

Tabla 20

Dimensionamiento del Banco de baterías

Símbolo	Variable	Valor	Unidad	Fórmula
D1	Carga CC total diaria	312,34	Ah	
D2	Días de reserva	3	días	
D3	Capacidad nominal banco de baterías	937,008	Ah	44
D4	Profundidad de carga	0,6		
D5	Capacidad corregida banco de baterías	1561,68	Ah	45
D6	Capacidad nominal de la batería	200	Ah	
D7	Arreglo de baterías en paralelo	7,8084		46
D8	Arreglo de baterías en paralelo	7		47
D9	Tensión CC nominal del sistema	12,00	V	
D10	Tensión nominal de la batería	12	V	
D11	Número de batería de serie	1		
D12	Número total de baterías	7		

Posteriormente, se calculó el inversor/transformador para obtener las características necesarias como se indica en la Tabla 21.

Tabla 21

Dimensionamiento del Inversor

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
E1	Carga máxima continua Ca	130,00	Vatios
E2	Carga máxima pico Ca	130,00	Vatios
E3	Capacidad máxima continua Ca del inversor	500	Vatios
E4	Capacidad máxima pico CA del inversor	500	Vatios

Finalmente, para la unidad de control se obtuvo que debe tener una corriente pico de 141,97 Ah.

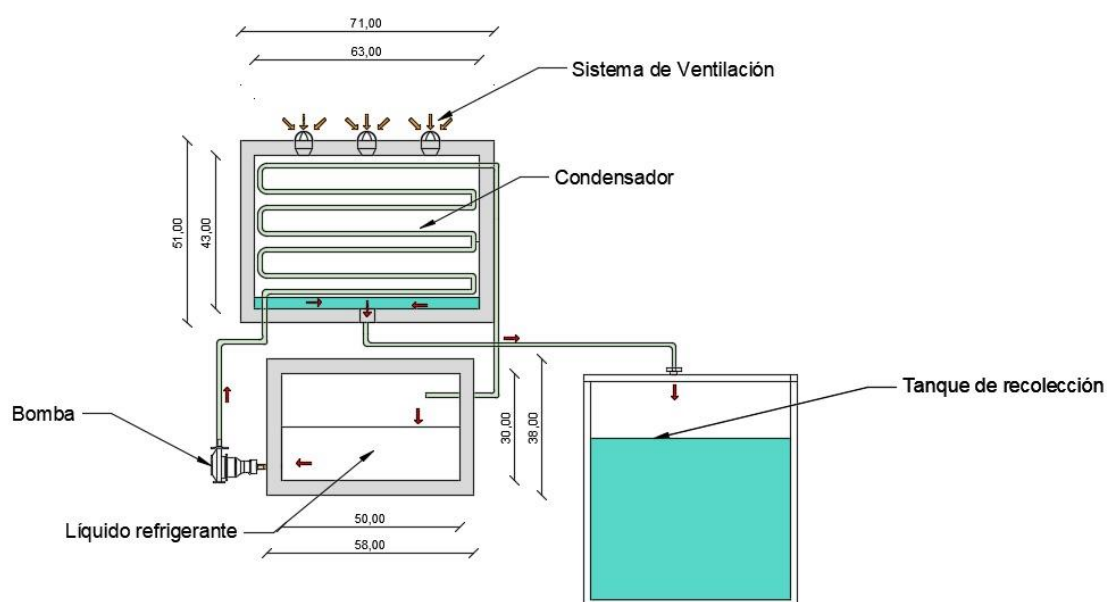
A continuación, se presentan las características finales del diseño al igual que su esquema (Figura 18).

- *Ventilador*: Se utilizó 6 ventiladores de D=110mm con una velocidad de 2000 rpm y con un voltaje de 12V.
- *Cámaras protectoras*: Para generar un ambiente controlado, en donde se colocará un serpentín en una cámara (51x75x51) cm y en otra (38x58x38) cm el líquido refrigerante necesario.
- *Condensador (serpentín)*: Se utilizó de tipo enfriamiento por agua con longitud de 16 m.
- *Batería recargable*: Se utilizó 7 baterías de 12V.
- *Paneles solares*: Los paneles seleccionados son 8 de 24 V, unidad de control con capacidad e 150 Ah, inversor de carga máxima 150 W y capacidad máxima 500 W.
- *Transformador*: Se utilizó un transformador de 110/220V a 12 V.
- *Sensores meteorológicos*: temperatura, de nivel de líquido

- *Bomba para líquido refrigerante:* De acuerdo a lo requerido se necesita una bomba de $\frac{1}{4}$ HP, la cual trabaja en períodos de 50 minutos con descansos de 20 minutos y un tiempo máximo de uso de 6 horas.
- *Reservorio de agua:* Se utilizó un tanque de 8 l de capacidad.

Figura 18

Esquema final del generador atmosférico



El generador atmosférico diseñado, basado en el proceso de condensación, posee una capacidad de producción de 6,20 lts en 6 horas, con un área aproximada de 0,63 m² y una potencia de 520 W, misma que es superior con la del generador propuesto por (R. Li et al., 2018), el cual está basado en el proceso de absorción – liberación por medio de un absorbente de agua foto térmico híbrido, cuya producción es de 20 g (0,02 lts) en 2,5 horas. Al contrastar los datos obtenidos con un sistema portátil de enfriamiento termoeléctrico propuesto por (Liu et al., 2017), el cual tiene una producción de 25,1 g (0,0251 lts) en una hora con un área de 0,216 m² con un consumo de 52,3 W, con una temperatura de 24 °C y HR= 67,8 %, se identifica una producción

mayor de agua pero un consumo de energía y la potencia es mucho más elevado. El generador que usa celdas Peltier como el propuesto por (Shourideh et al., 2018), 32-66 ml/h con una potencia de 60 W, con una temperatura de 30 °C y HR=60%. Una generación de 0,96 l/h con una potencia de 100 W, con una temperatura de 27 °C y HR=80%, propuesta por (Vián et al., 2002), con ello se comprobó que la potencia requerida influye directamente en la cantidad de agua condensada.

Análisis de series temporales

Para el análisis longitudinal y transversal de las bases de datos de la Torre Urku Yaku 2.0 y la estación meteorológica del IASA, como primero paso se procedió a realizar una verificación del estado de las mismas, en donde se dividió en 2 fases, en la primera se procedió a leer los datos para encontrar posibles errores, dentro de los cuales fueron: registros faltantes y datos repetidos. En la segunda fase, se detectó irregularidades o los llamados “outliers”, su identificación fue un punto esencial en esta evaluación, especialmente cuando se trató las variables extremas, ya que fue imposible saber exactamente si estos valores eran reales o no. Este proceso se corroboró con el trabajo de (Rusticucci & Barrucand, 2001) pues en su investigación se presenta la misma metodología para depurar las bases de datos. Seguidamente, se rellenó los datos faltantes y se suavizó la serie para posteriormente utilizar el software R para el análisis estadístico, el cual fue distinto para cada base de datos.

Análisis Individual

Temperatura Máxima

Para la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0, a la serie original (Figura 19 a) se la convirtió en serie estacionaria (Figura 19 b) a través de la aplicación de diferencias con el comando *ndiffs*. Se graficó la serie en un histograma (Figura 20) en donde se observó que los datos están

concentrados en la media y también se escogió el mejor modelo ARIMA que fue (2,1,1) (Figura 21) en donde la prueba de residuos mostró que los mismos no presentan tendencia, como se indica en la Figura 22 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,6576 lo que significa que existe ruido blanco. Para el Test de normalidad, se optó por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, proceso que se validó con el estudio de (Huth & Pokorná, 2004) puesto que sirve para una base de datos mayor a 50. En el mismo se obtuvo un valor de 0,03 lo que quiere decir que los datos no siguen una distribución normal. Se obtuvo un coeficiente de asimetría de -0,127, valor que indica que la distribución de los datos con respecto a la media se encuentra sesgada a la izquierda. El valor de curtosis fue de 0,916 mismo indicó que los datos tienen una distribución apuntada. Una vez realizado todo el análisis estadístico correspondiente se procedió a pronosticar los siguientes 30 días dados su extensión corta. En la Figura 23 se observa que el comportamiento de la variable será constante y su valor fluctuará entre los 19°C y 26°C, alcanzando un valor máximo de 29°C.

Figura 19

Serie de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0

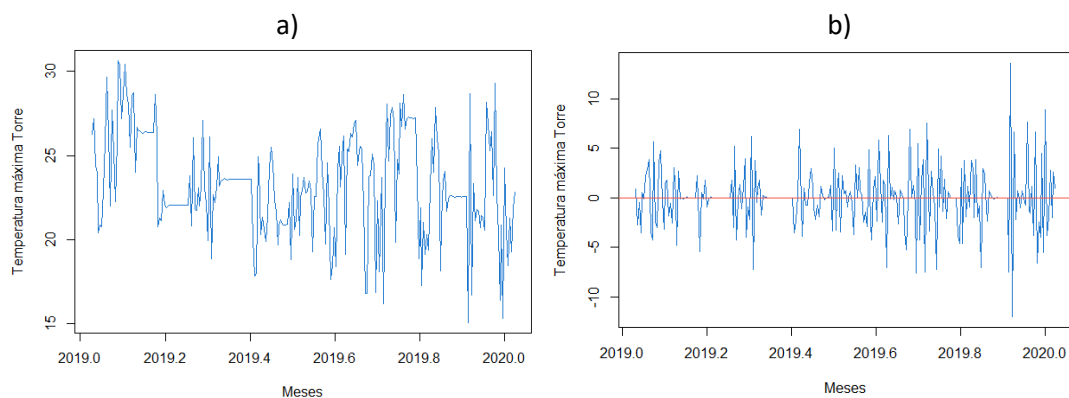
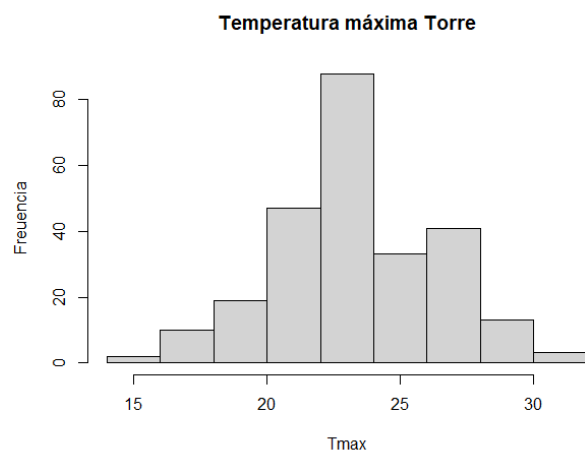


Figura 20

Histograma de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0

**Figura 21**

Modelo de ARIMA de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0

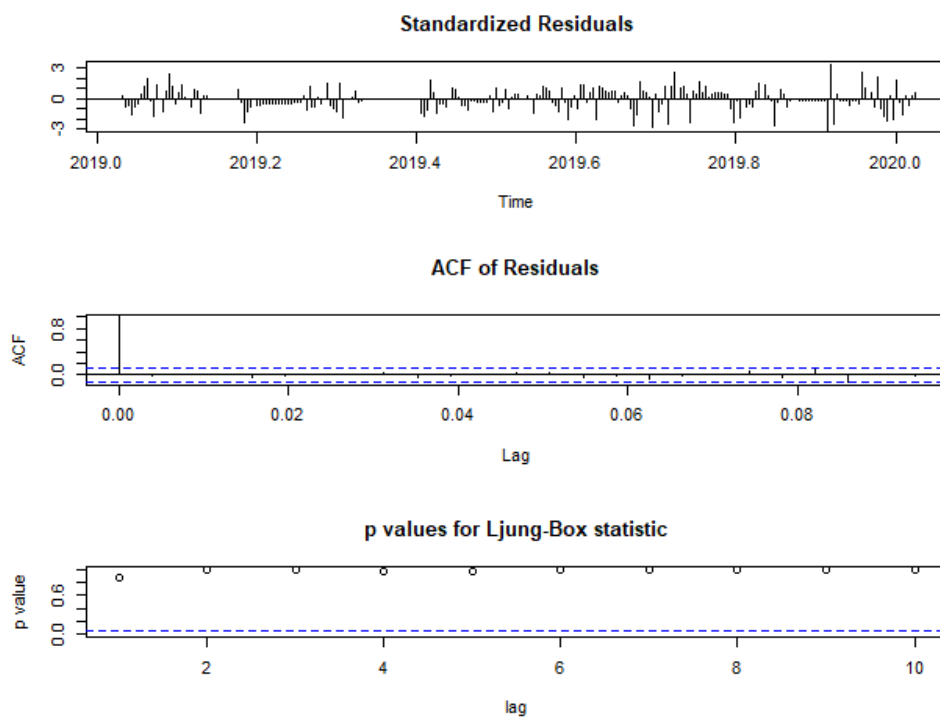


Figura 22

Prueba de residuos de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0

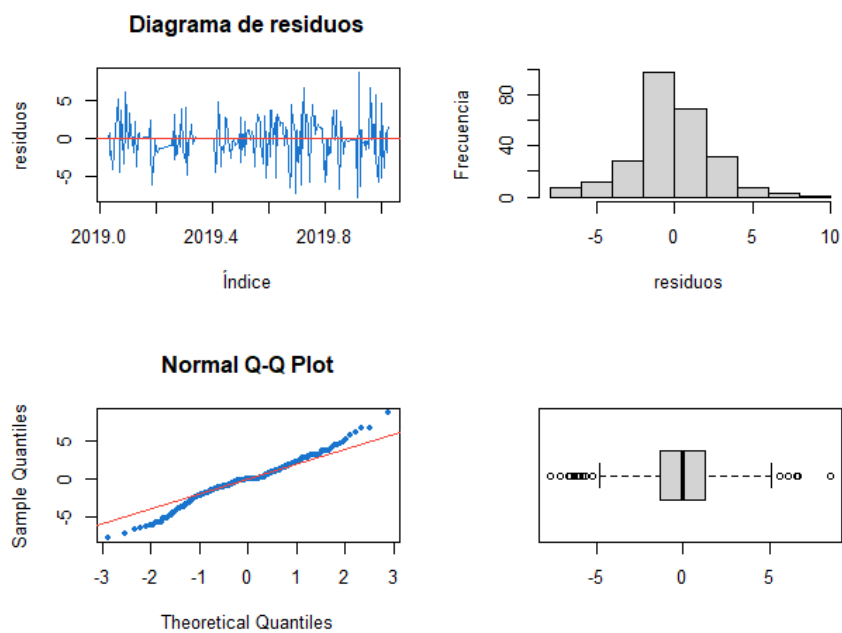
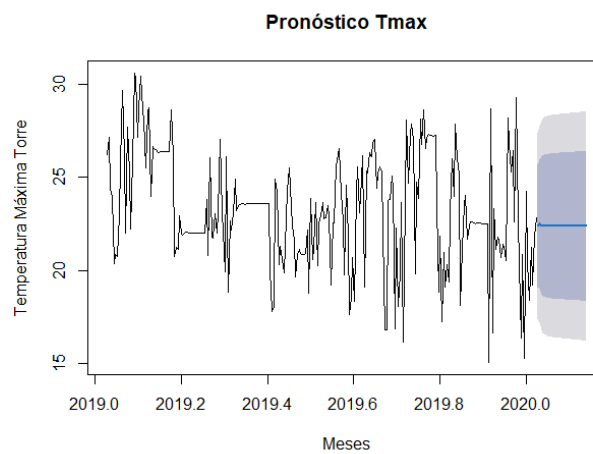


Figura 23

Pronóstico de Temperatura Máxima – Torre Urku Yaku 2.0



De igual forma se siguió el mismo procedimiento para la base de datos del IASA, se convirtió la serie original (Figura 24 a) en serie estacionaria (Figura 24 b) aplicando una diferencia. Se graficó la serie en un histograma (Figura 25) y se escogió el mejor modelo ARIMA (Figura 26), el cual fue (2,1,1), en donde, al igual que el modelo anterior, no presentó tendencia los residuos, como se indica en la Figura 27 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,9946 lo que significa que si existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo un valor de 0,043 por consiguiente los datos no siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría de -0,072, demostró que los datos están sesgados a la izquierda y la curtosis de -0,136 indicó que los datos tienen una distribución achatada, estos últimos dos valores se pueden verificar gráficamente en el histograma. Una vez realizado todo el análisis estadístico correspondiente se procedió a pronosticar los siguientes 12 meses, ya que la serie se la trabajó en meses al ser extensa. En la Figura 28 se observa que la variable, al igual que la base de datos anterior, tiene un comportamiento constante que variará entre 19°C y 22,5°C.

Figura 24

Serie de Temperatura Máxima - IASA

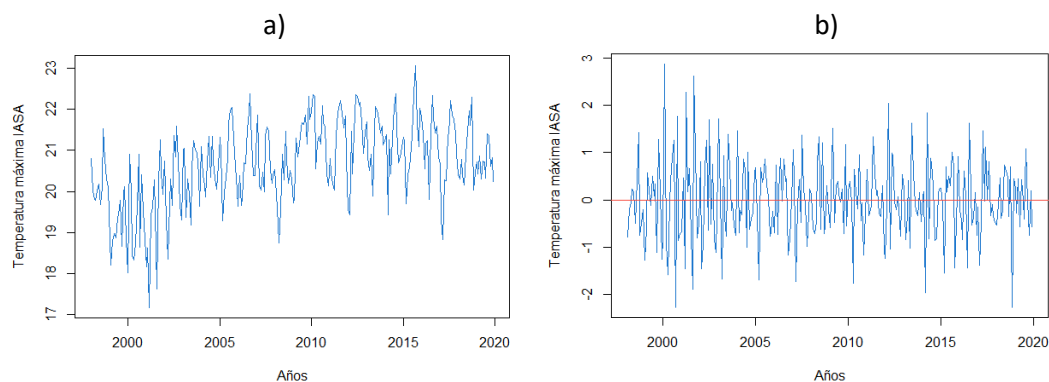


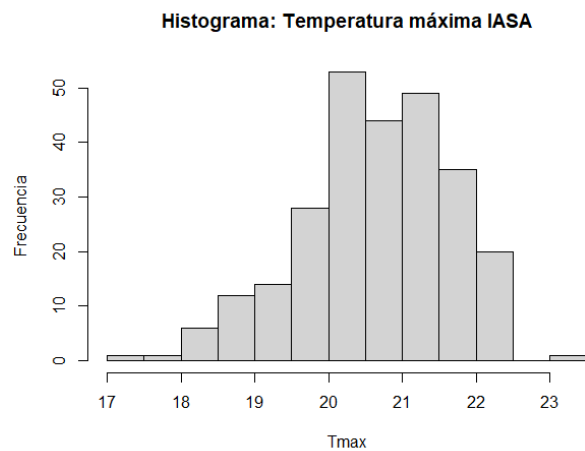
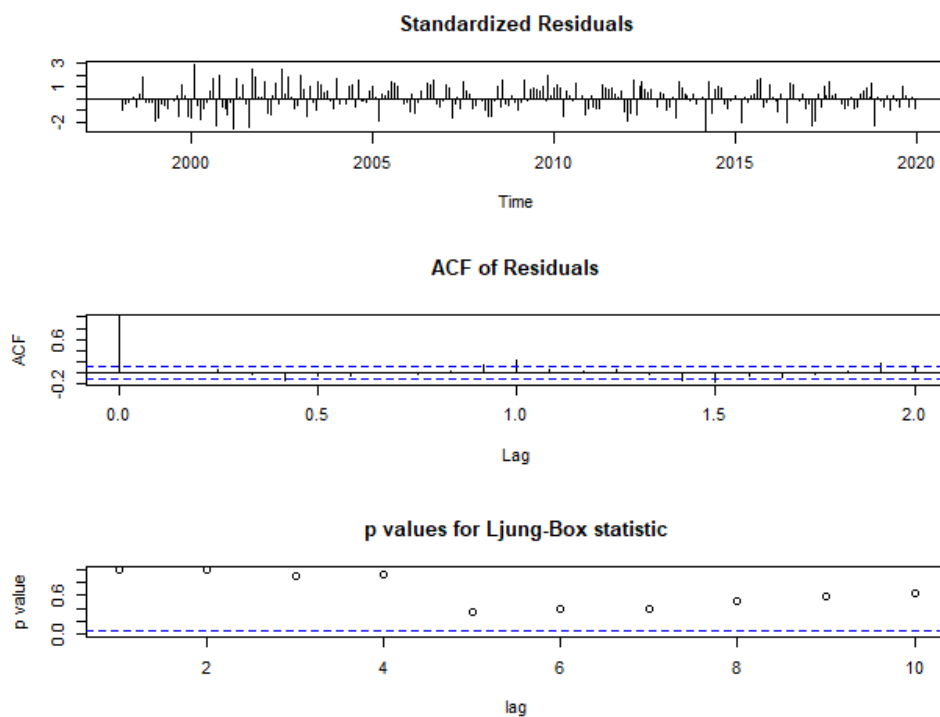
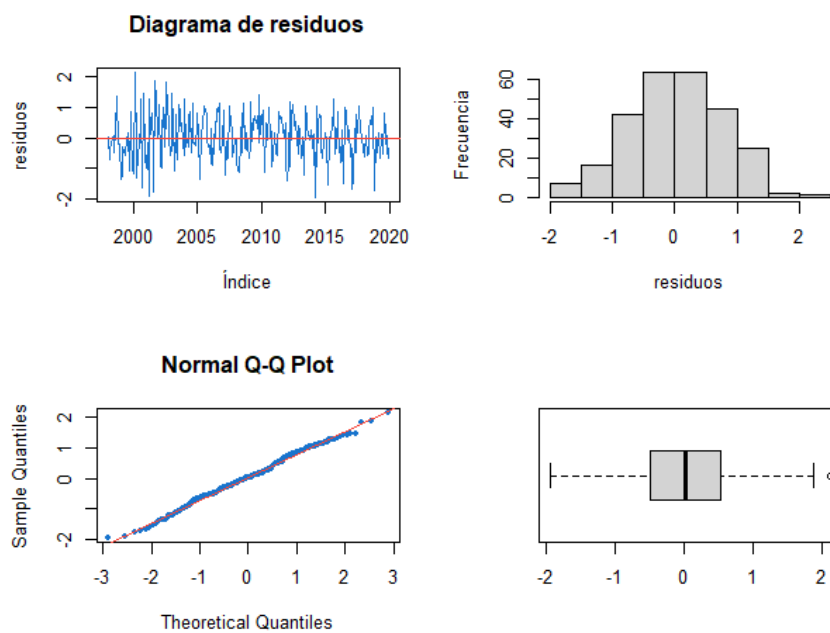
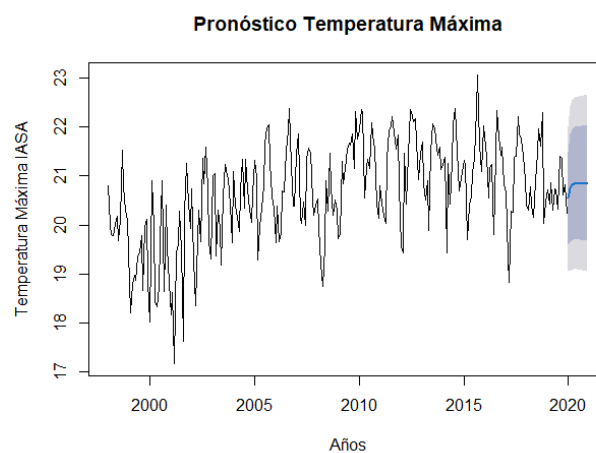
Figura 25*Histograma de Temperatura Máxima – IASA***Figura 26***Modelo de ARIMA de Temperatura Máxima – IASA*

Figura 27

Prueba de residuos de Temperatura Máxima – IASA

**Figura 28**

Pronóstico de Temperatura Máxima – IASA



Temperatura Mínima

Para la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0, a la serie original (Figura 29 a) se la transformó en serie estacionaria (Figura 29 b) aplicando una diferencia. Se graficó su histograma (Figura 30) y seguidamente, se escogió el mejor modelamiento de ARIMA (Figura 31), el cual fue $(4,1,2)$, en donde la prueba de residuos, al igual que la variable anterior, mostró que los residuos no presentan tendencia, como se indica en la Figura 32 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,8609 lo que significa que si existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo un valor de $1,064 \times 10^{-5}$ por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría tomó un valor de -0,4862 es decir, la distribución de los datos está sesgada a la izquierda. El valor de curtosis fue de 1,06 por ende, los datos tienen una distribución apuntalada. Una vez realizado todo el análisis estadístico correspondiente se procedió a pronosticar los siguientes 30 días como se muestra en la Figura 33, la misma que muestra que estará en el rango de 9°C a 13°C y tendrá una temperatura mínima de $8,5^{\circ}\text{C}$.

Figura 29

Serie de Temperatura Máxima - Torre Urku Yaku 2.0

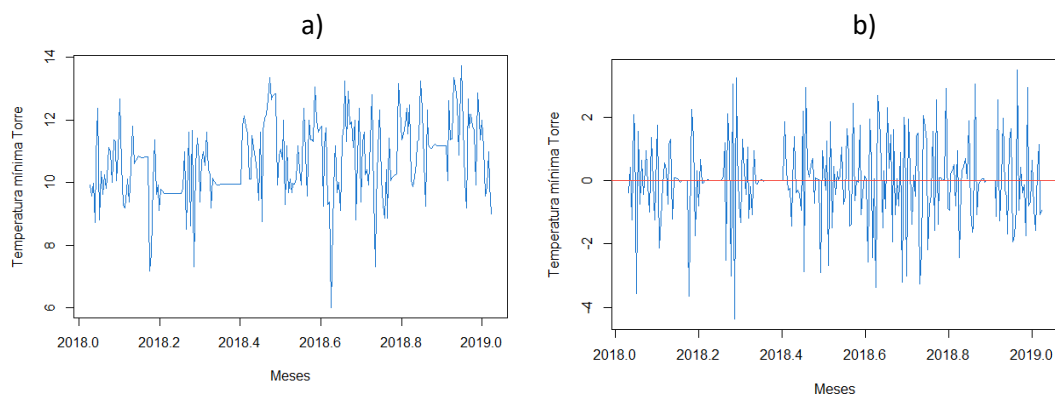


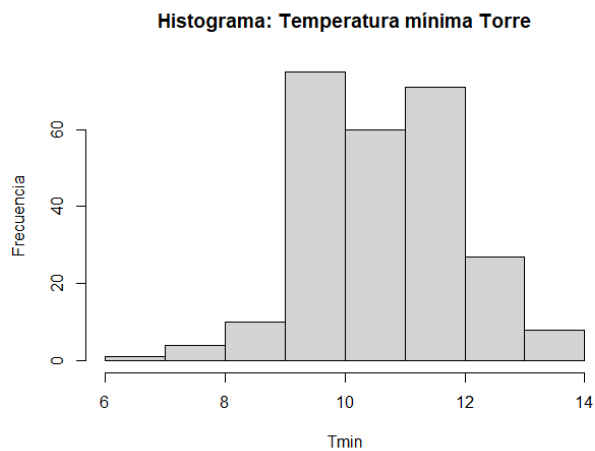
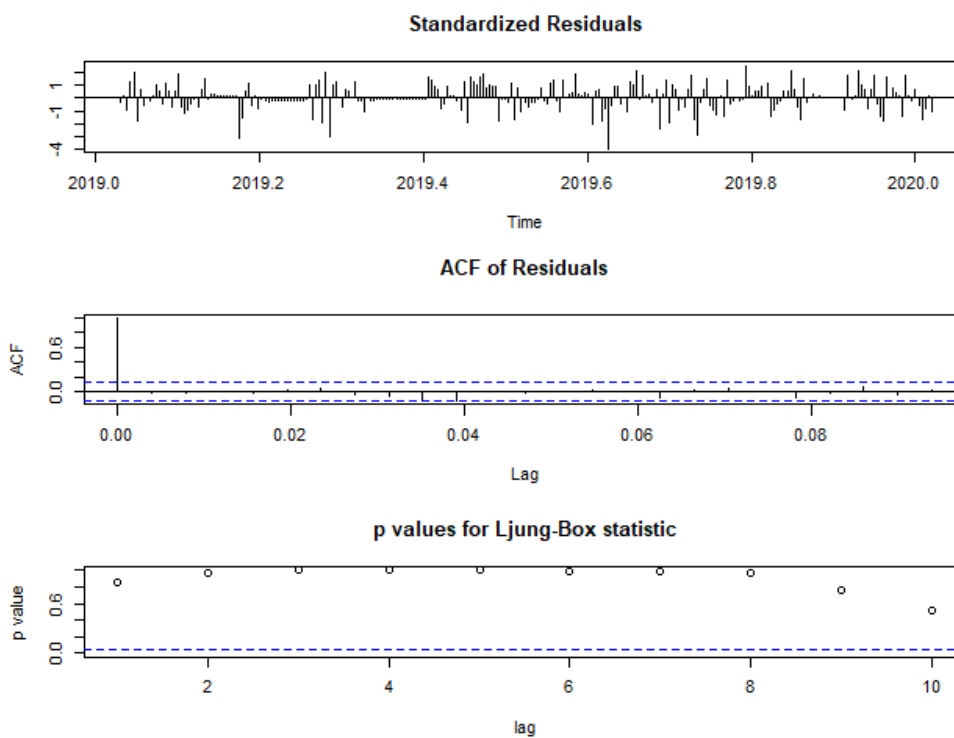
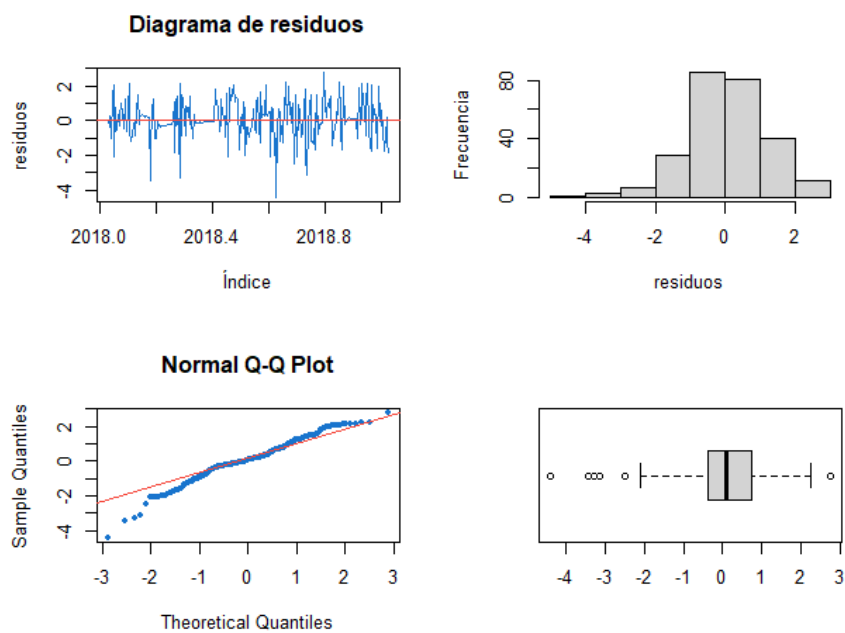
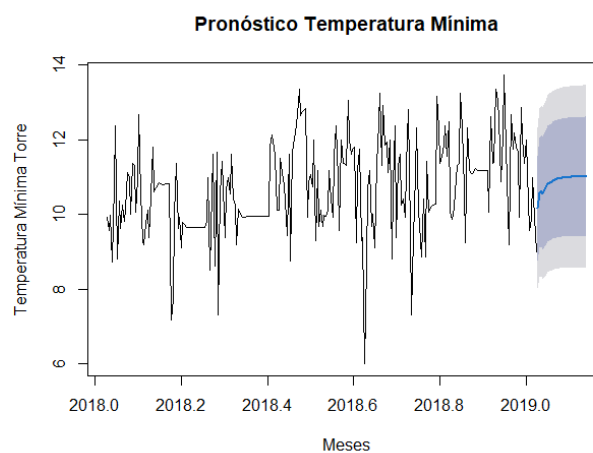
Figura 30*Histograma de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0***Figura 31***Modelo de ARIMA de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0*

Figura 32

Prueba de residuos de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0

**Figura 33**

Pronóstico de Temperatura Mínima – Torre Urku Yaku 2.0



Asimismo, se realizó el mismo procedimiento para la base de datos del IASA, se transformó la serie original (Figura 34 a) en serie estacionaria (Figura 34 b) aplicando únicamente una diferencia, se graficó su respectivo histograma (Figura 35) y se escogió el mejor modelamiento de ARIMA (Figura 36), el mismo que fue (2,0,1), en donde, de manera similar al modelo anterior, los residuos no presentaron tendencia, como se indica en la Figura 37 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,8789 lo que significa que si existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo un valor de 0,8262 por ende, los datos siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría de 0,1585 manifestó que los datos están sesgados a la derecha y la curtosis de -0,2426 demostró que los datos tienen una distribución achatada. Una vez realizado todo el análisis estadístico correspondiente se procedió a pronosticar los siguientes 12 meses (Figura 38) en donde se observa un comportamiento decreciente teniendo como intervalo de 6°C y 9,5°C.

Figura 34

Serie de Temperatura Mínima - IASA

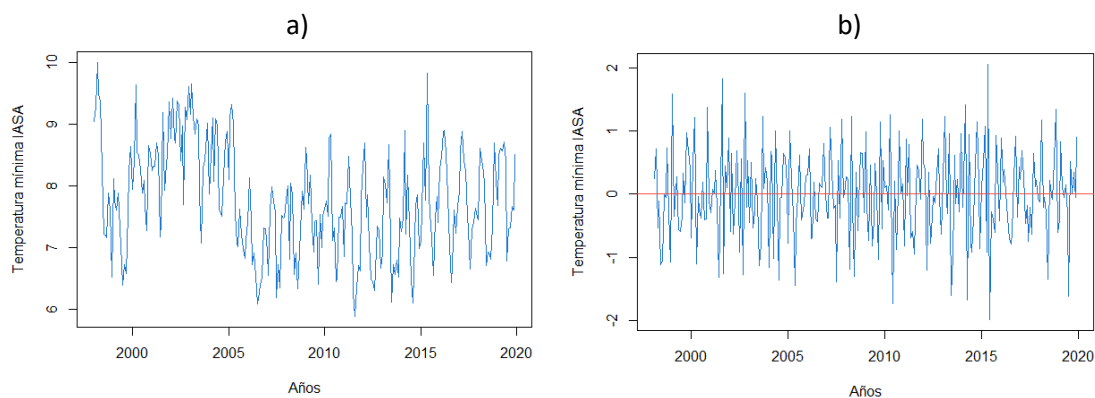


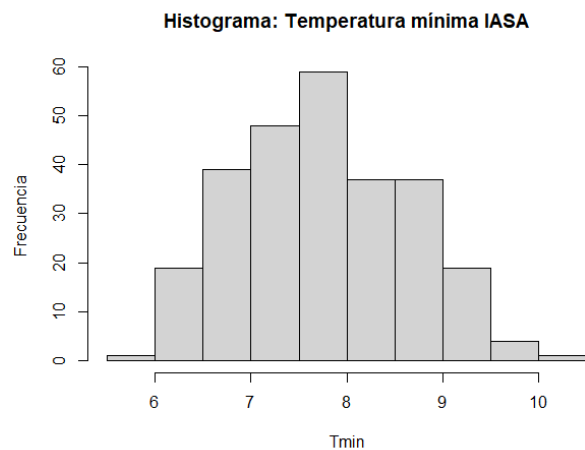
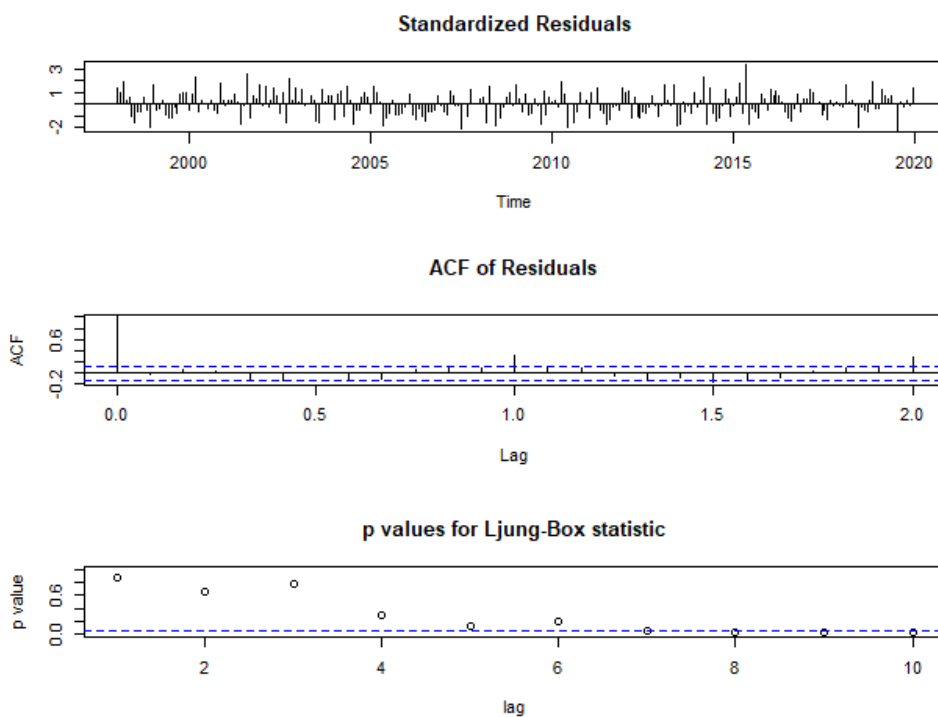
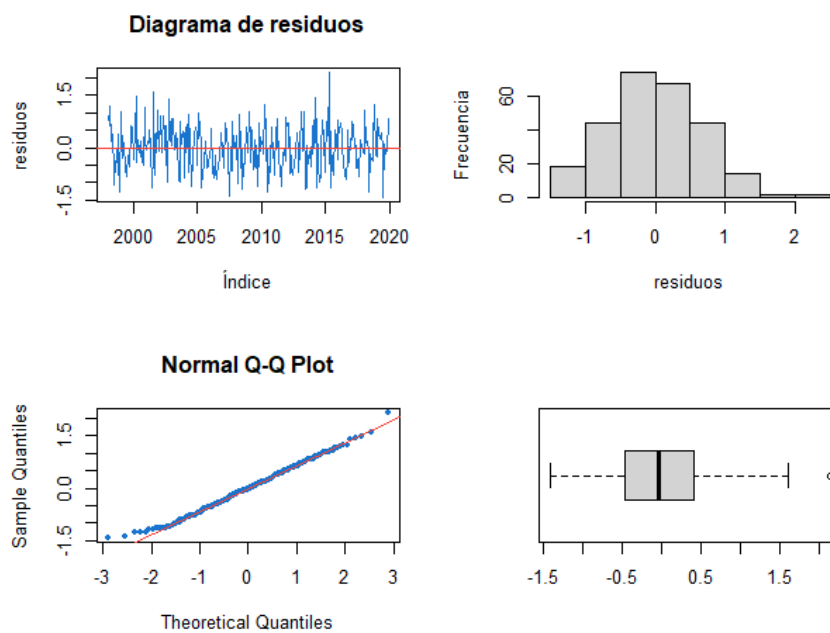
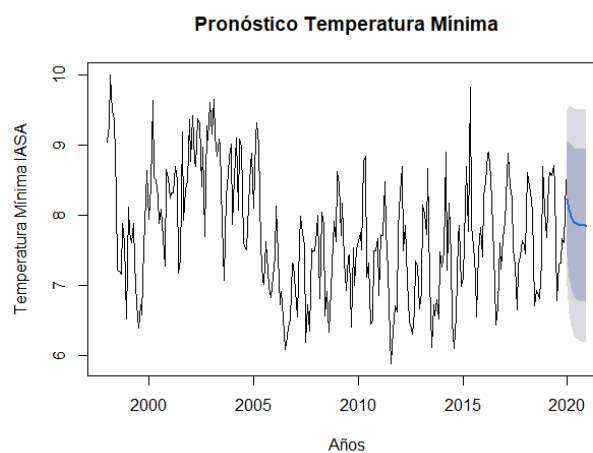
Figura 35*Histograma de Temperatura Mínima – IASA***Figura 36***Modelo de ARIMA de Temperatura Mínima – IASA*

Figura 37*Prueba de residuos de Temperatura Mínima – IASA***Figura 38***Pronóstico de Temperatura Mínima – IASA*

Humedad

Para la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0, la serie original presentó una tendencia creciente, sin embargo, este comportamiento es anómalo. A la serie original (Figura 39 a) se la transformó en serie estacionaria (Figura 39 b) aplicando una diferencia. Se graficó su respectivo histograma (Figura 40) y seguidamente, se escogió el mejor modelo ARIMA (Figura 41), mismo que fue de (0,1,3), en donde la prueba de residuos, manifestó que los mismos no presentan tendencia, como se indica en la Figura 42 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,9399 por lo tanto, existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo $2,2 \times 10^{-16}$ por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría tomó un valor de 3,1720 es decir, la distribución de los datos está sesgada a la derecha. El valor de curtosis fue de 18,6291 por ende, los datos tienen una distribución apuntalada. Finalmente se pronosticaron los siguientes 30 días como se muestra en la Figura 43, en donde se muestra que efectivamente la variable presenta una tendencia creciente lo cual es erróneo.

Figura 39

Serie de Humedad - Torre Urku Yaku 2.0

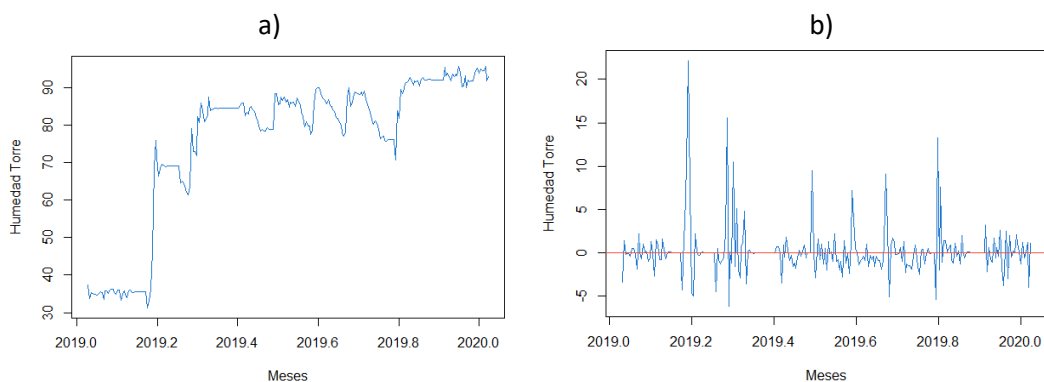


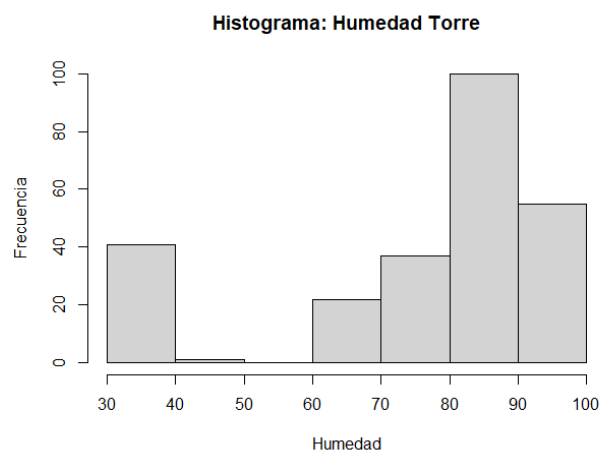
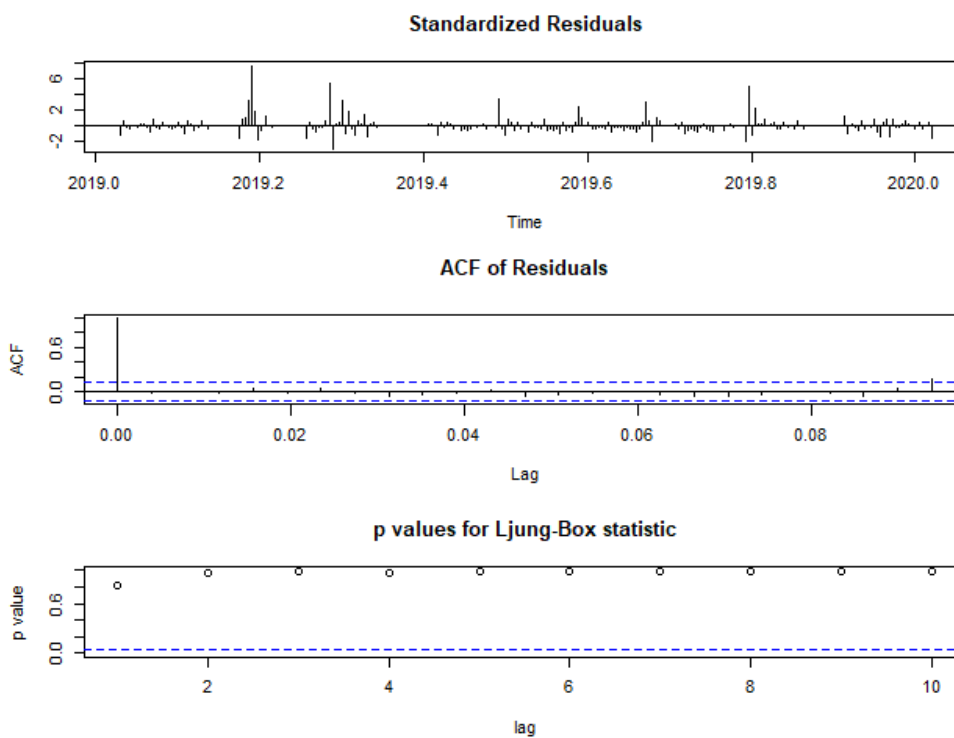
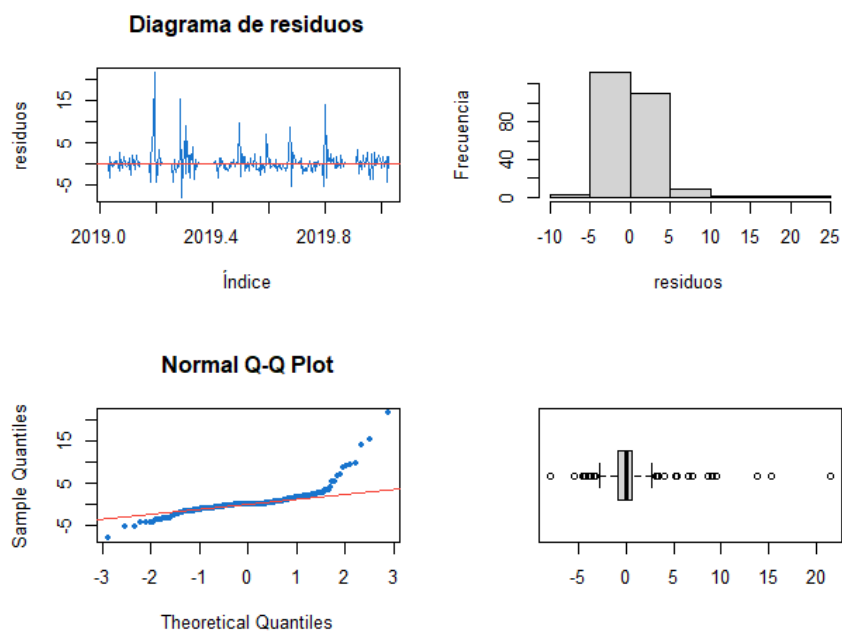
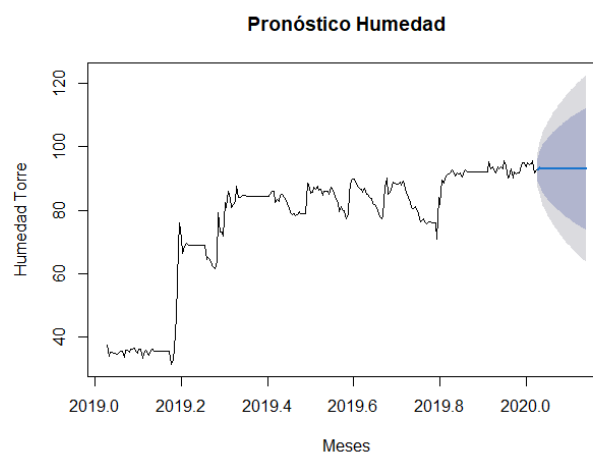
Figura 40*Histograma de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0***Figura 41***Modelo de ARIMA de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0*

Figura 42*Prueba de residuos de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0***Figura 43***Pronóstico de Humedad – Torre Urku Yaku 2.0*

Para la base de datos del IASA, se la analizó de igual forma, se convirtió la serie original (Figura 44 a) a serie estacionaria (Figura 44 b) aplicando una diferencia. Se la graficó en un histograma (Figura 45) en donde se observó que los datos están concentrados en la media y también se seleccionó el mejor modelo ARIMA (Figura 46), mismo que fue de (0,1,2), donde la prueba de residuos, determinó que los mismos no presentan tendencia, como se indica en la Figura 47 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,7242 por lo tanto, existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo $2,2 \times 10^{-16}$ por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría tomó un valor de -1,394 es decir, la distribución de los datos está sesgada a la izquierda. El valor de curtosis fue de 5,379 por ende, su distribución apuntalada. En último lugar, se pronosticaron los siguientes 12 meses como se muestra en la Figura 48, en donde se observa un comportamiento constante que oscila entre 59% y 75%.

Figura 44

Serie de humedad - IASA

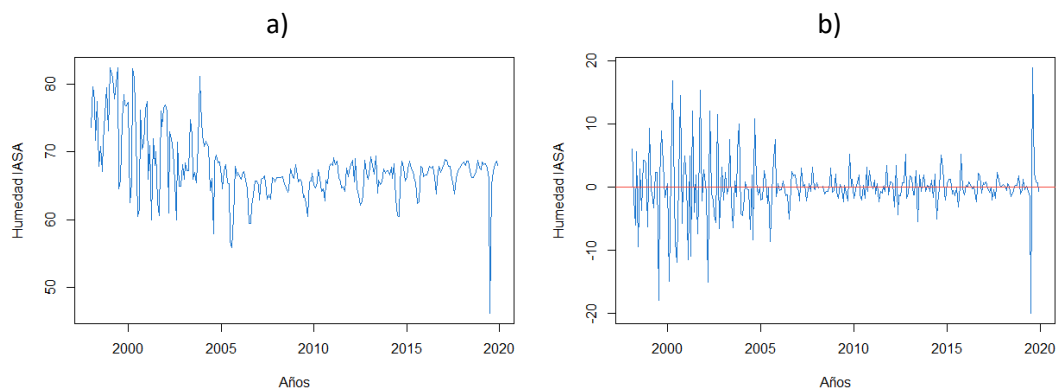


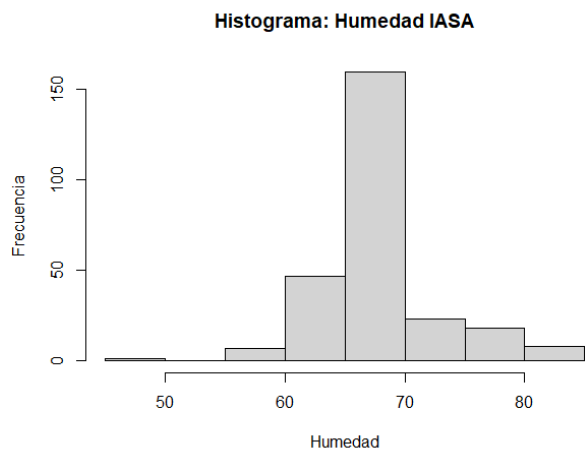
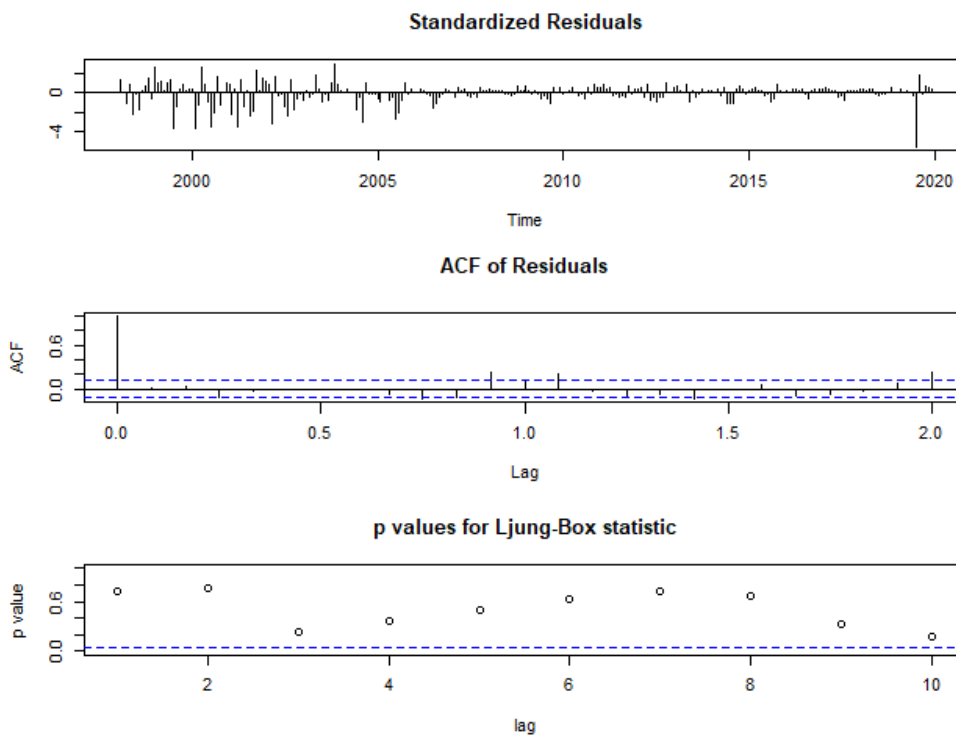
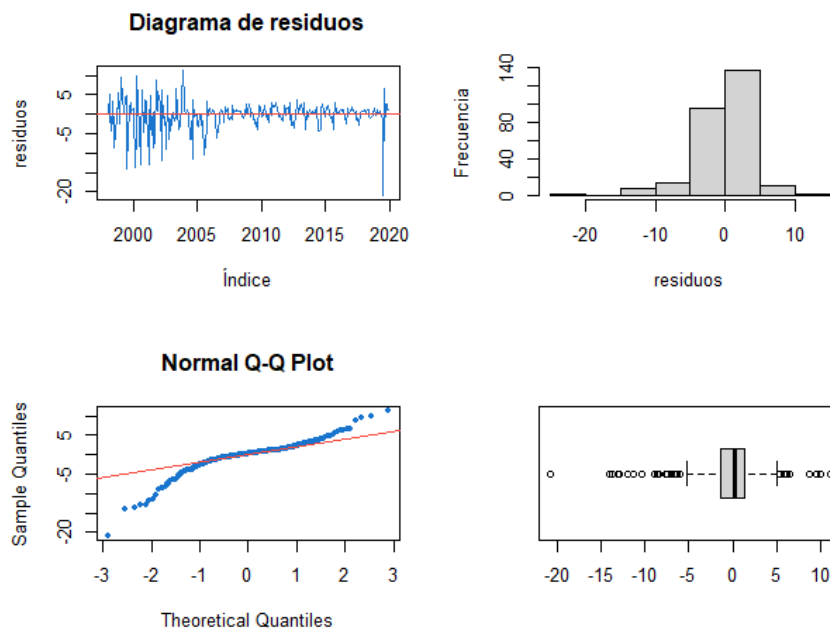
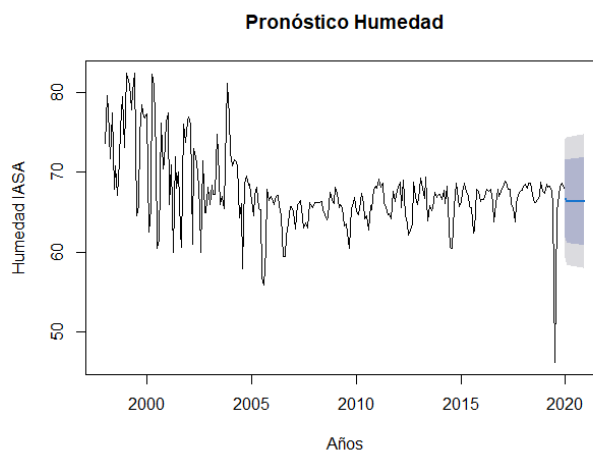
Figura 45*Histograma de humedad – IASA***Figura 46***Modelo de ARIMA de humedad – IASA*

Figura 47*Prueba de residuos de humedad – IASA***Figura 48***Pronóstico de humedad – IASA*

Radiación Solar

Para la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0, se pudo observar que la serie original (Figura 49) manifestó un comportamiento anómalo, adicionalmente se ocupó la función *ndiffs* para conocer el número de diferencias que se debían aplicar a la serie para convertirla en estacionaria, sin embargo, la misma arrojó un valor de 0. Se graficó su respectivo histograma (Figura 50) y seguidamente, se escogió el mejor modelo ARIMA (Figura 51), mismo que fue de (1,0,1), en donde la prueba de residuos, manifestó que los mismos no presentan tendencia, como se indica en la Figura 52 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,8886 por lo tanto, existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo $2,2 \times 10^{-16}$ por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal. El coeficiente de asimetría tomó un valor de -2,6268 es decir, la distribución de los datos está sesgada a la izquierda. El valor de curtosis fue de 10,8970 por ende, los datos tienen una distribución apuntalada. Estos valores se pudieron confirmar en el histograma. Finalmente se pronosticaron los siguientes 30 días como se muestra en la Figura 53, misma que muestra un comportamiento constante que varía entre 3,4 y 4,1.

Figura 49

Serie de Radiación Solar - Torre Urku Yaku 2.0

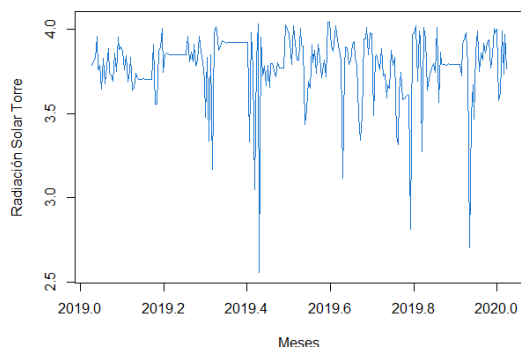


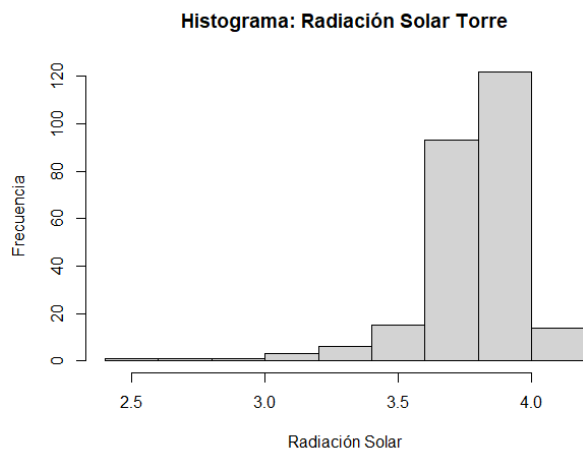
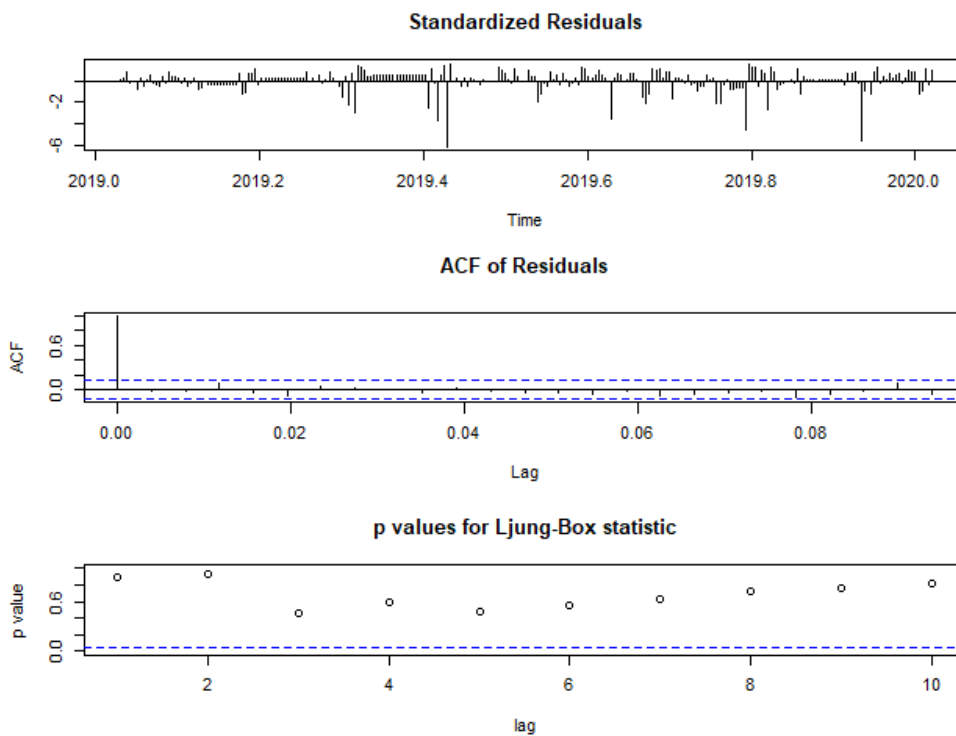
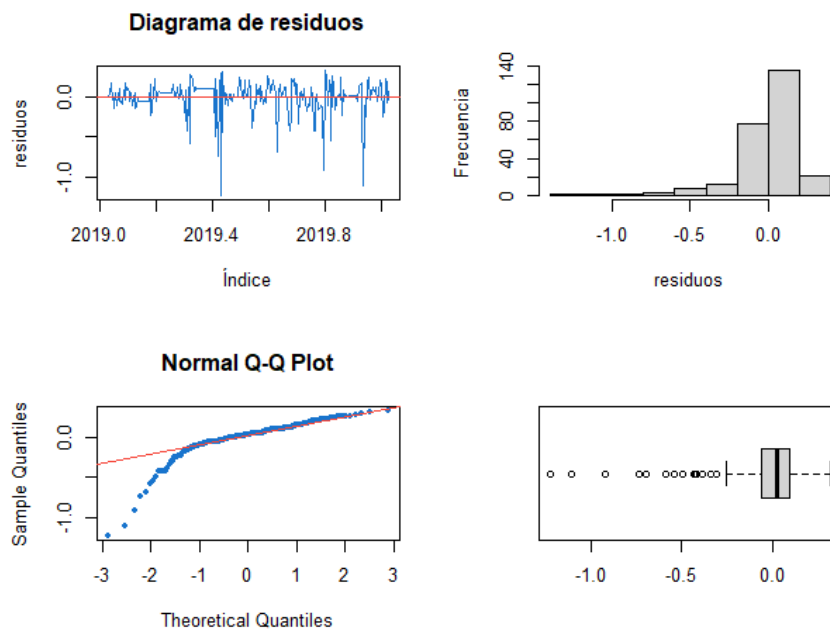
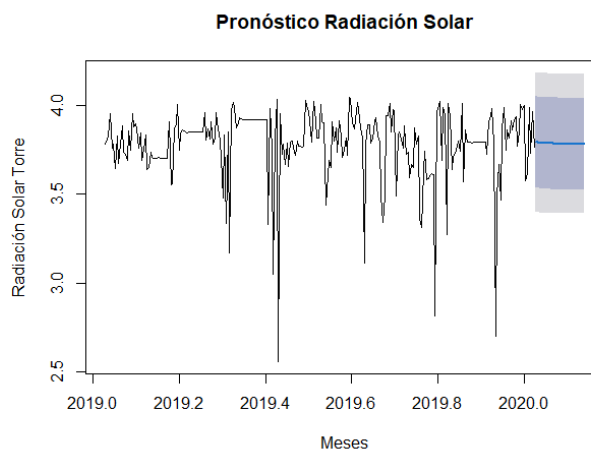
Figura 50*Histograma de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0***Figura 51***Modelo de ARIMA de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0*

Figura 52*Prueba de residuos de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0***Figura 53***Pronóstico de Radiación Solar – Torre Urku Yaku 2.0*

De la misma forma, se procedió para la base de datos del IASA, se transformó la serie original (Figura 54 a) en serie estacionaria (Figura 54 b) aplicando una sola diferencia, se graficó su respectivo histograma (Figura 55) y se eligió el mejor modelamiento de ARIMA (Figura 56), el cual fue (2,1,2), en donde, los residuos no presentaron tendencia, como se indica en la Figura 57 y en el Test de Ljung-Box se obtuvo 0,9406 lo que significa que si existe ruido blanco. En el Test de normalidad, se obtuvo un valor de 0,841 por ende, los datos tienen una distribución normal. El coeficiente de asimetría de 0,1843 mostró que los datos están sesgados a la derecha y la curtosis de 0,079 demostró que los datos tienen una distribución un poco apuntalada. Una vez realizado todo el análisis estadístico correspondiente se procedió a pronosticar los siguientes 12 meses. En la Figura 58 se muestra una ampliación leve en su comportamiento que fluctuará entre 0,5 y 4,5.

Figura 54

Serie de Radiación Solar - IASA

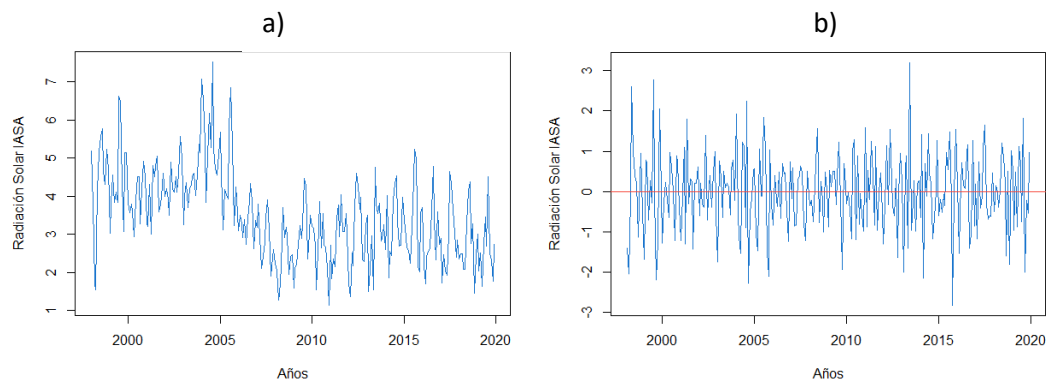


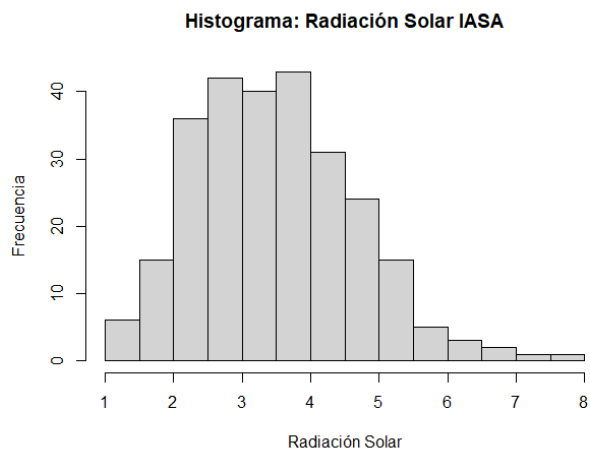
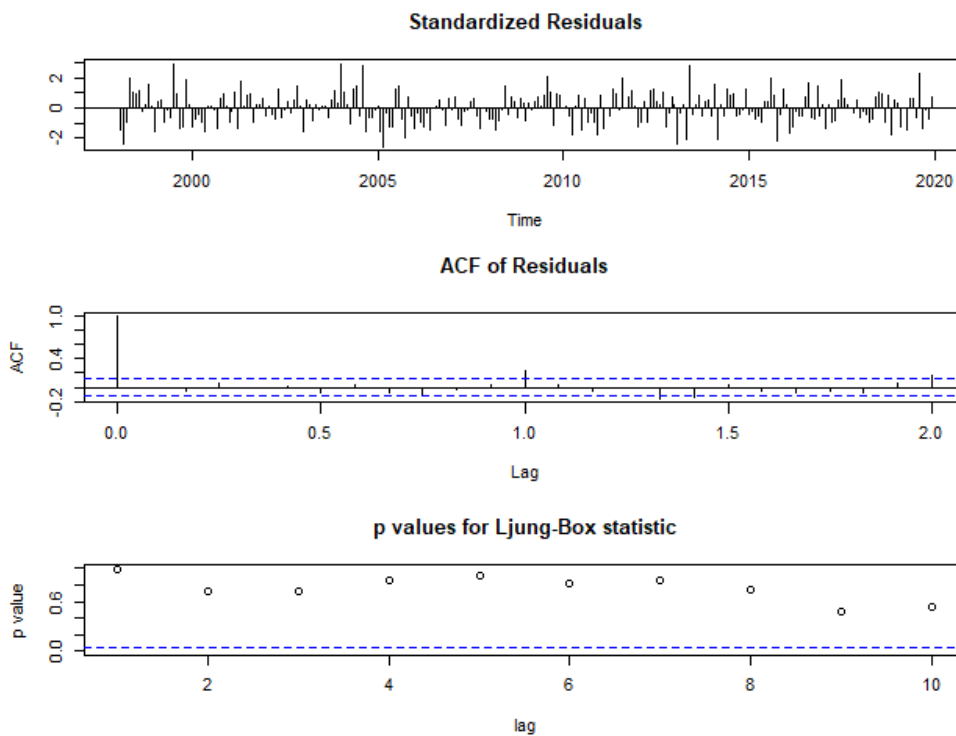
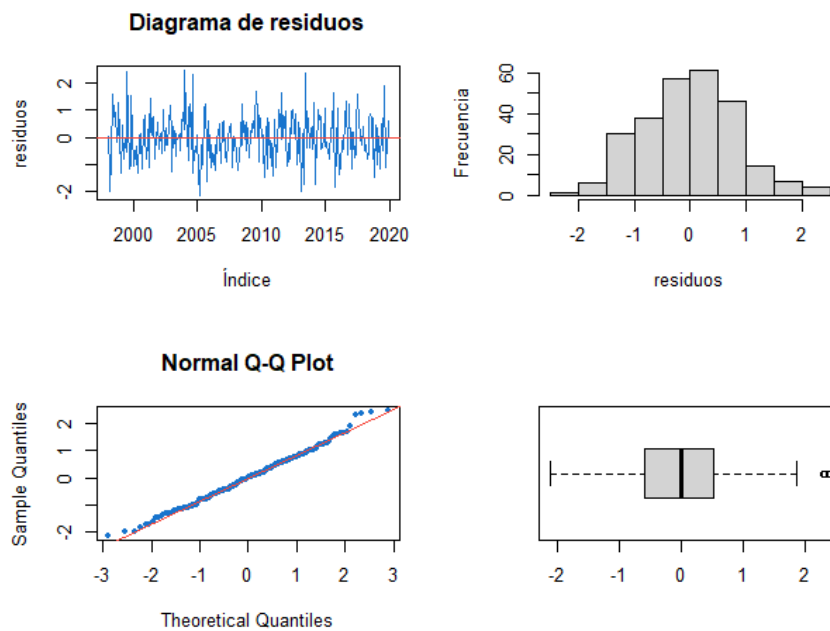
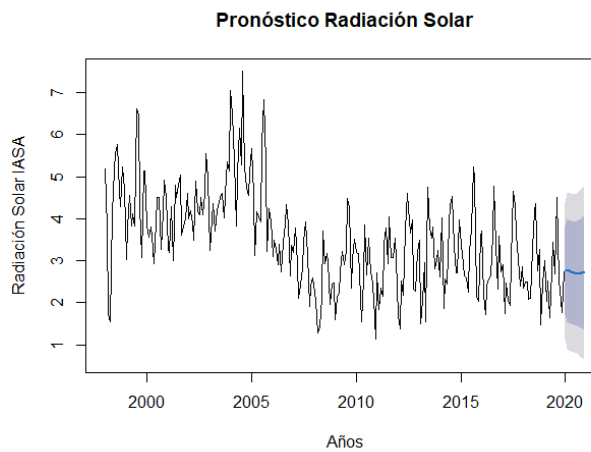
Figura 55*Histograma de Radiación Solar – IASA***Figura 56***Modelo de ARIMA de Radiación Solar – IASA*

Figura 57*Prueba de residuos de Radiación Solar – IASA***Figura 58***Pronóstico de Radiación Solar – IASA*

La base de datos meteorológicos de la Torre Urku Yaku 2.0 no contaba con la extensión suficiente para poder realizar un análisis lateral significativo con mapas recurrentes, ya que es

recomendable trabajar con una serie de mínimo 10 años (Espinosa Yáñez & Pazmiño Dávila, 2020); por lo tanto, se realizó una comparativa entre diagramas de caja.

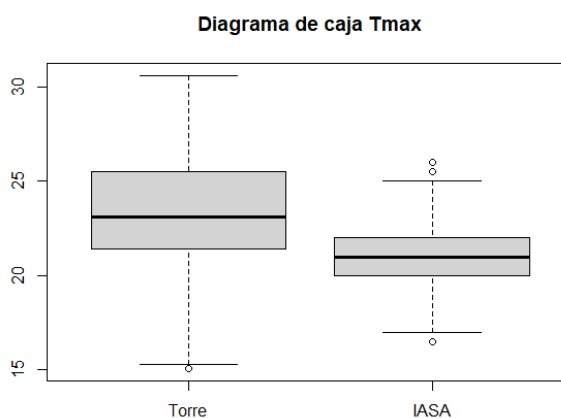
La consistencia y extensión de una base de datos es relevante para el análisis de series temporales como lo fue con la del IASA lo cual coincide con los estudios realizados por (Alonso-Carné et al., 2017) y (Castillo-Castillo et al., 2017). El propósito de trabajar con una gran cantidad de datos es asegurar una buena distribución espacial de las variables bajo investigación recolectando todas las posibles variaciones del área de estudio.

Análisis comparativo

En cuanto a la temperatura máxima (Figura 59) se observa que para la Torre Urku Yaku 2.0 la media es mayor que la del IASA, por ende existe una temperatura más alta en la zona de la primera. También en la Torre se aprecia una distribución más holgada a diferencia de la del IASA pues en ésta última existe una concentración de datos alrededor de la media. Adicionalmente, la amplitud del diagrama de caja es mayor en la Torre que en el IASA, es decir, que la varianza de la primera base de datos es mayor y esto se debe a la inconsistencia que presentó la misma.

Figura 59

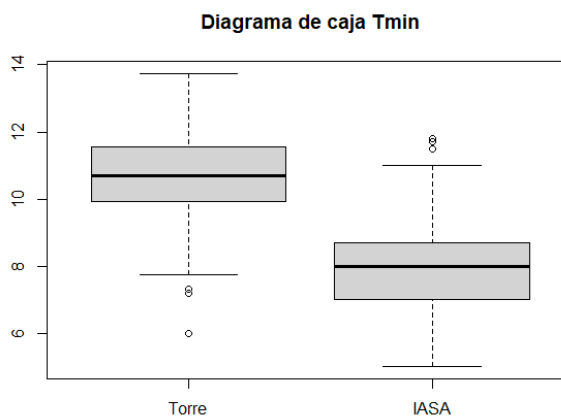
Análisis comparativo de Temperatura Máxima



La Figura 60 muestra la comparativa de la temperatura mínima, al igual que la temperatura máxima, esta variable presenta una media superior en la Torre Urku Yaku frente a la del IASA. Puesto que las distribuciones de ambas bases de datos son similares se puede asumir que las varianzas también lo son.

Figura 60

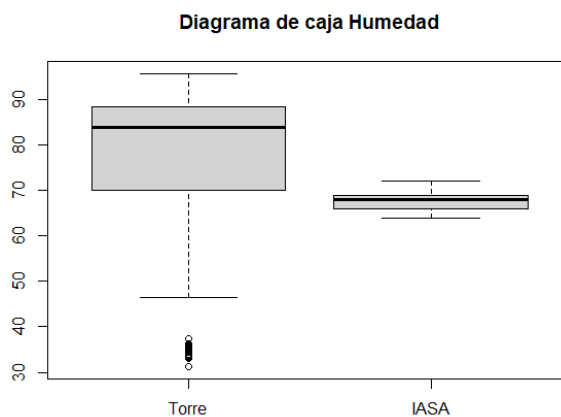
Análisis comparativo de Temperatura Mínima



Referente a la variable humedad (Figura 61), se observa claramente la diferencia en el valor de la media entre bases de datos siendo mayor la de la Torre. Existe una mayor concentración de datos en la base del IASA, por lo tanto, su varianza es menor a la de la Torre. Mientras que la base de ésta última presenta una distribución más amplia.

Figura 61

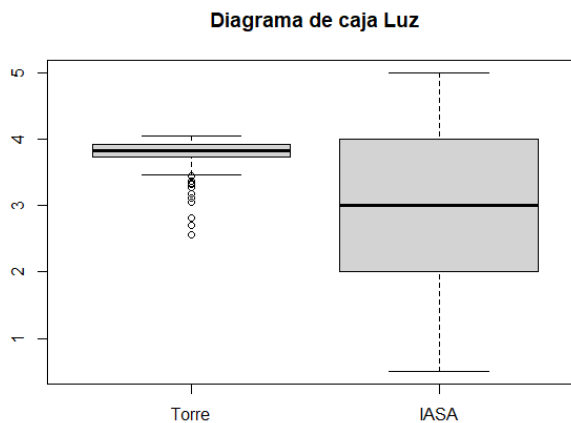
Análisis comparativo de Humedad



En relación a la radiación solar, en la Figura 62 se puede observar que existe una mayor concentración de datos alrededor de la media en la base de la Torre. También la media es superior en ésta pero la varianza es mayor en la del IASA y esto se debe a la distribución de datos.

Figura 62

Análisis comparativo de Radiación Solar



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los sensores de temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa fueron instalados exitosamente en la zona de estudio (Conocoto), previo a este proceso se realizaron labores de limpieza, mantenimiento y actualización del código.
- Una vez realizado el análisis longitudinal de temperatura máxima y mínima se pronosticaron los siguientes 30 días, los cuales manifestaron una tendencia constante.
- La depuración de la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0 fue esencial para realizar un análisis estadístico adecuado, dado que inicialmente se tuvo un 30% de datos faltantes. Para ello, se utilizó el método de interpolación.
- Las variables de humedad y radiación solar presentaron resultados inconsistentes. Probablemente esto se deba al gran porcentaje de datos faltantes y a la poca cantidad de información generada por los sensores, por lo tanto, su pronóstico no tiene un nivel de significancia alto.
- El análisis lateral se realizó mediante diagramas de caja, descartando los mapas recurrentes debido a la corta extensión de la base de datos de la Torre Urku Yaku 2.0.
- El alto nivel de producción del generador atmosférico de 6,20 lts se debió a la potencia de los ventiladores escogidos y al área de condensación.
- La zona de estudio presentó condiciones climáticas favorables para una buena producción de agua.

Recomendaciones

- Es recomendable realizar mantenimientos mensuales a los sensores IoT para comprobar su estado físico, su correcto funcionamiento y evitar pérdida de datos.
- Para el análisis de series temporales se recomienda tener datos de mínimo 4 años para poder apreciar la estacionalidad.
- Se debe tener en consideración que la explotación de la generación de agua atmosférica a una escala mayor (industrial) puede llegar a cambiar el ciclo hidrológico de la zona de estudio a largo plazo, por tanto, es necesario realizar estudios ambientales.
- Es necesario realizar pruebas de calidad de agua en cualquier zona donde se aplique un generador atmosférico, con el fin de conocer las características físicas, químicas y bacteriológicas, para aprovecharlo adecuadamente.
- Se debe tener en cuenta la distancia a la cual se requiere enviar los datos medidos por los sensores para escoger una arquitectura IoT propicia para dicho fin.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, B. W., Bishop, K., Zarnetske, J. P., Minaudo, C., Chapin, F. S., Krause, S., Hannah, D. M., Conner, L., Ellison, D., Godsey, S. E., Plont, S., Marçais, J., Kolbe, T., Huebner, A., Frei, R. J., Hampton, T., Gu, S., Buhman, M., Sara Sayedi, S., ... Pinay, G. (2019). Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, *12*(7), 533–540. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>
- Acosta Rodríguez, J. A., & Reina Riaño, W. A. (2019). *Sistema de Supervisión y Control del Prototipo Generador de Agua a partir de Celdas de Peltier*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Adedia, D., Nanga, S., Appiah, S. K., Lotsi, A., & Abaye, D. A. (2018). Box-Jenkins' Methodology in Predicting Maternal Mortality Records from a Public Health Facility in Ghana. *Open Journal of Applied Sciences*, *08*(06), 189–202. <https://doi.org/10.4236/OJAPPS.2018.86016>
- Alonso-Carné, J., Estrada-Peña, A., & García-Martín, A. (2017). Análisis comparativo de la información de temperatura de las bases de datos WORLDCLIM, ECA&D y MODIS en el Paleártico Occidental. *Geographicalia*, *69*(1), 1–32. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2017692317
- Alshehri, M., Bhardwaj, A., Kumar, M., Mishra, S., & Gyani, J. (2021). Cloud and IoT based smart architecture for desalination water treatment. *Environmental Research*, *195*, 110812. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110812>
- Alvarado Unamuno, E. A., Alarcón Salvatierra, P. A., Picon Fara, C. O., & Alarcón Salvatierra, J. A. (2016). La importancia de contar con una infraestructura tecnológica de alta disponibilidad

en instituciones gubernamentales (Ecuador). *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
<http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/11/estructura.html>

Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9), 1–4.
<https://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>

Arnau Gras, J. (2001). *Diseños de Series Temporales: Técnicas de Análisis* (Universitat de Barcelona & Servicio de Publicaciones (eds.)).
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IGptN_0cXMwC&oi=fnd&pg=PA15&dq=series+temporales&ots=Sc2oUN6FGk&sig=Ki5UypQiRf_csHjbJ7Q9ROGVdU8#v=onepage&q=series+temporales&f=false

Ayala, M. F., Carrera-Villacrés, D., & Tierra, A. (2017). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2), 298–313. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347760473005>

Boca, T. (2018). Unidad 1 . Introducción al manejo de R y elementos de estadística. In *Análisis de Datos Espaciales y sus Aplicaciones*. Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich.”

Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S., & Goudos, S. K. (2020). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>

Britto, j. F. (2010). Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCC*, 45, 35–41.

Cain, M. K., Zhang, Z., & Yuan, K.-H. (2016). Univariate and multivariate skewness and kurtosis for

measuring nonnormality: Prevalence, influence and estimation. *Behavior Research Methods* 2016 49:5, 49(5), 1716–1735. <https://doi.org/10.3758/S13428-016-0814-1>

Carrera-Villacrés, D. V., Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 79–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>

Cartagena Quimbiamba, J., Burbano Ortiz, N., Palacios Tapia, J., & Bahamonde Sola, J. (2015). *FICHAS METODOLÓGICAS DE INDICADORES, ESTADÍSTICOS Y VARIABLES METEOROLÓGICAS, HIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES.*

Castelblanco, J. (2020). *Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para IoT.* Universidad Autónoma de Nariño.

Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Valdés, J. B., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Valdés, J. B., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(1), 35–52. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2017-01-03>

Castrillejo García, Ó. D. (2020). *Red Inalámbrica entre Dispositivos Arduino/NodeMCU.* Univerdidad de Valladolid.

Chow, V. Te. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* Nomos S.A.

CIE. (2008). *Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.*

- Del Cano, J. D. M. (2019). *Principios Básicos de Psicometría*.
- Devore, J. (2012). *Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias* (S. Cervantes González (ed.); Vol. 7). Cengage Learning Editores S.A. <https://latinoamerica.cengage.com>
- Dey, P., Chaulya, S. K., & Kumar, S. (2021). Hybrid CNN-LSTM and IoT-based coal mine hazards monitoring and prediction system. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.005>
- Elsaadany, Y., Majumder, A. J. A., & Ucci, D. R. (2017). A Wireless Early Prediction System of Cardiac Arrest through IoT. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference, 2*, 690–695. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2017.40>
- Espinosa Yáñez, D. G., & Pazmiño Dávila, S. A. (2020). *Dinámica caótica de series temporales hidrometeorológicas del sistema hidrográfico del Río Tutanangosa para el diseño del sistema de agua potable para las comunidades Bellavista y La Florida, Parroquia Huambi*. Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE.”
- FNUAP. (2001). *El estado de la población mundial 2001*.
- GAD Parroquial de Conocoto. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Goertzen, M. J. (2017). Introduction to quantitative research and data. In *Library Technology Reports* (Vol. 53, Issue 4). <https://journals.ala.org/index.php/ltr/article/view/6325/8275>
- Gómez García, A. J., & Quinteros Carabalí, J. A. (2020). *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático*. Universidad Central del Ecuador.

- Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e Innovación*, 5(1).
<https://doi.org/10.21897/23460466.1101>
- Gómez Seguro, J. (2019). *Evaluación de tecnologías y servicios IoT orientados a las ciudades inteligentes* [Universidad de Cantabria].
[https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17813/Gómez Seguro_Jorge - TFM ETI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17813/Gómez_Seguro_Jorge_-_TFM_ETI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guaca, N. A., María, G., & Hurtado, A. L. (2020). Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura. In *Memorias*.
<https://doi.org/10.22490/25904779.4170>
- Guerrero-Ibañez, J. A., Estrada-Gonzalez, F. P., Medina-Tejeda, M. A., Rivera-Gutierrez, M. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C. A., Toledo-Zuñiga, D., & Lopez-Gonzalez, V. I. (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, 53–58.
[http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risci/pdfs/CA544SI17.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risci/pdfs/CA544SI17.pdf)
- Henry, G., & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental. In P. E. Roig Vázquez (Ed.), *Pearson Educación* (2nd ed.). Prentice Hall, Inc. https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/ingenieria-ambiental_glynn.pdf
- Hibbeler, R. C. (2010a). *Ingeniería Mecánica Dinámica* (12th ed.). Pearson Educación de México, S.A.

- Hibbeler, R. C. (2010b). *Ingeniería Mecánica Estática* (12th ed.). Pearson Educación de México, S.A.
- Hu, A., Levis, S., Meehl, G. A., Han, W., Washington, W. M., Oleson, K. W., Van Ruijven, B. J., He, M., & Strand, W. G. (2016). Impact of solar panels on global climate. *Nature Climate Change*, 6(3), 290–294. <https://doi.org/10.1038/nclimate2843>
- Huan, J., Li, H., Wu, F., & Cao, W. (2020). Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT. *Aquacultural Engineering*, 90, 102088. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2020.102088>
- Huth, R., & Pokorná, L. (2004). Parametric versus non-parametric estimates of climatic trends. *Theoretical and Applied Climatology* 2004 77:1, 77(1), 107–112. <https://doi.org/10.1007/S00704-003-0026-3>
- INEC. (2010). *Información Censal*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- INEC. (2019). *Medición de los indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH), en Ecuador*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indicadores-ods-agua-saneamiento-e-higiene/>
- Inzunza, J. C. (2012). *Meteorología descriptiva*. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción.
- Kolmogorov, & A. (1933). Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Inst. Ital. Attuari, Giorn.*, 4.
- Li, Q., Liu, Y., Guo, S., & Zhou, H. (2017). Solar energy storage in the rechargeable batteries. In *Nano Today* (Vol. 16, pp. 46–60). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2017.08.007>

Li, R., Shi, Y., Alsaedi, M., Wu, M., Shi, L., & Wang, P. (2018). Hybrid Hydrogel with High Water Vapor Harvesting Capacity for Deployable Solar-Driven Atmospheric Water Generator. *Environmental Science & Technology*, 52(19), 11367–11377. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B02852>

Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (13th ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. H. (1988). *Hidrología para Ingenieros*. McGraw-Hill Interamericana.

https://www.academia.edu/37765494/Hidrología_para_Ingenieros_LINSLEY_KOHLER_y_P_AULHUS

Liu, S., He, W., Hu, D., Lv, S., Chen, D., Wu, X., Xu, F., & Li, S. (2017). Experimental analysis of a portable atmospheric water generator by thermoelectric cooling method. *Energy Procedia*, 142, 1609–1614. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.12.538>

Lladó Cobo, C. (2019). *La escasez de agua como amenaza global*. <https://ddd.uab.cat/record/213445>

Lozano-Rivas, W. A. (2018). *Clima, hidrología y meteorología.: Para ciencias ambientales e ingeniería* (Primera Ed). Universidad Piloto de Colombia.

Lyu, Y., & Yin, P. (2020). Internet of Things transmission and network reliability in complex environment. *Computer Communications*, 150, 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.054>

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Calvo Buendía, E., Shukla, P., Slade, R., Connors, S., Van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., ... Malley, J. (2020). *El cambio climático y la tierra*. www.ipcc.ch

McCabe, W. L., Smith, J., & Harriott, P. (1991). Operaciones unitarias en Ingeniería Química. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (4th ed., Vol. 53, Issue 9). McGraw-Hill Interamericana.

Muñoz Flores, P., Escobar Muñoz, L., & Acalo Sánchez, T. (2019). Study of the power of test for normality using unknown distributions with different levels of non normality. *Perfiles*, 1(21), 4–11. <https://doi.org/10.47187/PERF.V1I21.42>

Murillo, J., Trejos, Á., & Carvajal Olaya, P. (2003). Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica, utilizando modelos de series de tiempo. *Scientia et Technica*, 3(23), 37–42. <https://doi.org/10.22517/23447214.7379>

OMM. (2018). *Guía de prácticas climatológicas* (Vol. 100). <http://public>.

ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo*. <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>

Pardal Garcés, P. (2017). *Redes de Área Extensa para aplicaciones de IoT: modelado de comunicaciones Sigfox* [Universidad Politécnica de Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86052/PARDAL - Redes de Área Extensa para aplicaciones de IoT%3A modelado de comunicaciones Sigfox.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86052/PARDAL%20-%20Redes%20de%20Área%20Extensa%20para%20aplicaciones%20de%20IoT%3A%20modelado%20de%20comunicaciones%20Sigfox.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pichs-Madruga, R., Edenhofer, O., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T.,

- Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., & Stechow, C. von. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf
- Pinzón, J. A. (2018). *Prototipo Generador de Agua a partir de la Condensación del Aire* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13459>
- Rijal, A. (2019). Test of Random Walk Occurrences of Microfinance Sub Index in NEPSE. *The Journal of Economic Concerns*, 10(1).
- Rizk, J., & Chaiko, Y. (2008). Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 41, 313–315.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.306.7087&rep=rep1&type=pdf>
- Rodríguez, J. I. (2017). *METAMODELO PARA LA INTEGRACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS Y REDES SOCIALES*. Universidad de Oviedo.
- Rusticucci, M. M., & Barrucand, M. G. (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorológica*, 26, 69–84.
- Sánchez Arancibia, D. F. (2019). *Generador de agua dulce por destilación al vacío*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. *World Watch*.
[http://onlinebiblio.lneg.pt/plinkres.asp?Base=ENERBD&Form=COMP&StartRec=0&RecPag=5&NewSearch=1&SearchTxt=%22TCO NP 4456 \(2007\) - norma portuguesa : gest?o da investiga??o, desenvolvimento, e inova??o \(IDI\): terminologia e defini??es](http://onlinebiblio.lneg.pt/plinkres.asp?Base=ENERBD&Form=COMP&StartRec=0&RecPag=5&NewSearch=1&SearchTxt=%22TCO NP 4456 (2007) - norma portuguesa : gest?o da investiga??o, desenvolvimento, e inova??o (IDI): terminologia e defini??es)

- Schallenberg, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., Cabrera Pérez, D., Martel Rodríguez, G., Pardilla Fariña, J., & Subiela Ortin, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (1st ed.).
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. www.planificacion.gob.ec
- Shamshiri, R. R., Bojic, I., van Henten, E., Balasundram, S. K., Dworak, V., Sultan, M., & Weltzien, C. (2020). Model-based evaluation of greenhouse microclimate using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121303. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121303>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Shawyer, M., & Medina, A. (2005). Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección. In *El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca* (Vol. 436). FAO. <http://www.fao.org>
- Shourideh, A. H., Bou Ajram, W., Al Lami, J., Haggag, S., & Mansouri, A. (2018). A comprehensive study of an atmospheric water generator using Peltier effect. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 14–26. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2018.02.015>
- Trabado Sagot, A., & Hidalgo Madriz, J. (2019). *Hoja técnica: Generación de agua a partir de humedad atmosférica*.
- Tripathi, A., Tushar, S., Pal, S., Lodh, S., Tiwari, S., & Desai, R. S. (2016). Atmospheric Water Generator. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*,

5(4).

Tu, R., & Hwang, Y. (2020). Reviews of atmospheric water harvesting technologies. In *Energy* (Vol. 201, p. 117630). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117630>

UNESCO World Water Assessment. (2003). *Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*.

University of Waikato. (2018). *Measuring the weather – a timeline*. Science Learning Hub. https://www.sciencelearn.org.nz/interactive_timeline/9-measuring-the-weather-a-timeline

Valenzuela Molina, P. (2018). *Diseño de un sistema de sensores y gestión inteligente para el Campus Sur de la UPM*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

Vián, J. G., Astrain, D., & Domínguez, M. (2002). Numerical modelling and a design of a thermoelectric dehumidifier. *Applied Thermal Engineering*, 22(4), 407–422. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(01\)00102-8](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00102-8)

Villarreal, F. (2016). *Introducción a los Modelos de Pronósticos*.

Villavicencio, J. (2011). *Introducción a Series de Tiempo*.

Vital Carrillo, M. (2021). Introducción de Arduino. *Revista*, 9(17), 4–8. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6625/7531>

Wang, X., Li, X., Liu, G., Li, J., Hu, X., Xu, N., Zhao, W., Zhu, B., & Zhu, J. (2019). An Interfacial Solar Heating Assisted Liquid Sorbent Atmospheric Water Generator. *Angewandte Chemie -*

International Edition, 58(35), 12054–12058. <https://doi.org/10.1002/anie.201905229>

Westfall, P. H. (2014). Kurtosis as Peakedness, 1905–2014. R.I.P. *The American Statistician*, 68(3), 191–195. <https://doi.org/10.1080/00031305.2014.917055>

Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., & Córdova, V. (2017). Resumen del Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos y de las Cuencas y Microcuencas hidrográficas de Ecuador. *Aqua-LAC*, 9(2), 124–132.

Zecchin Chiaia, F. E. (2021). *Aplicación de ciclo de absorción a generador de agua atmosférico*. Universidad Argentina de la Empresa.