

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Software

IoT como solución tecnológica para fortalecer la visualización de parámetros físicoquímicos de luminosidad y turbidez en un biorreactor a escala laboratorio.

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero de Software presentado ante la ilustre Universidad Técnica del Norte.

Autor:

David Alessandro Palacios Avellaneda

Director:

MSc. Vicente Alexander Guevara Vega

Ibarra – Ecuador

2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100373857-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	PALACIOS AVELLANEDA DAVID ALESSANDRO		
DIRECCIÓN:	IBARRA, EL RETORNO		
EMAIL:	dapalaciosa@utn.edu.ec / alesandropascu@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0994896089

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IOT COMO SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA FORTALECER LA VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LUMINOSIDAD Y TURBIDEZ EN UN BIORREACTOR A ESCALA LABORATORIO.
AUTOR(ES):	DAVID ALESSANDRO PALACIOS AVELLANEDA
FECHA:	27/02/2025
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO DE SOFTWARE
DIRECTOR:	MSc. GUEVARA VEGA ALEXANDER
ASESOR 1:	ING. ZARATE BACA SANTIAGO
ASESOR 2:	MSc. GUEVARA VEGA CATHY

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:



ESTUDIANTE

David Alessandro Palacios Avellaneda

C.I: 1003738570-0



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN SOFTWARE

Ibarra, 27 de febrero de 2025

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Por medio del presente yo MSc. Alexander Guevara Vega, certifico que el Sr. David Alessandro Palacios Avellaneda, portador de la cedula de identidad número 1003738570, ha trabajado en el desarrollo del proyecto de grado **"IOT COMO SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA FORTALECER LA VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LUMINOSIDAD Y TURBIDEZ EN UN BIORREACTOR A ESCALA LABORATORIO"**, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Software, lo cual ha realizado en su totalidad con responsabilidad.

Es todo en cuanto puedo certificar a la verdad

Atentamente

Msc. Alexander Guevara Vega

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios y mi Madre Dolorosa, por darme la fortaleza y guiar mi camino en lo largo de mi vida, de mis estudios y trabajo de grado. Quiero dedicar a mi mami Elena por el apoyo que me ha brindado, dando todo de ella para poder culminar mis estudios, su constante lucha y esfuerzo para que no me falte nada y su constante aliento para nunca rendirme y sobre todo su profundo cariño y el saber que siempre va a estar para mí a pesar de todo.

Quiero dedicar a mi mamita Carmelita que siempre ha estado para mí, dándome sus constantes ánimos y siempre estando, esperándome con un plato en la mesa siempre que regresaba de clases. A mis hermanos Ricky y Salvatore, que me han apoyado y ayudando, siempre sacándome una sonrisa en los días que más lo he necesitado y siempre siguiendo como ejemplo el esfuerzo de mi hermano mayor y la compañía de mi hermano menor.

Quiero dedicar también a mi papá Estefano que me ha brindado su apoyo y ánimos en todo este tiempo, aconsejando a que continúe y nunca me rinda diciéndome de lo que soy capaz. También quiero dedicar a mi familia que me ha ayudado, a mis tías y primas que sin necesidad de pedir ayuda sabían que iban a estar ahí para mí.

Por último, a mis amigos, amigas y compañeros que he hecho a lo largo de mi vida, por su gran apoyo, por tener con quien hablar cuando todo no ha ido bien, por sus buenos consejos, su compañía y el alentarme a nunca rendirme dándome ánimo y siempre alentándome a seguir adelante.

David Alessandro Palacios Avellaneda

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios y a mi madre Dolorosa, por su guía a lo largo de este camino que he recorrido en el proceso de investigación. Siempre que he querido rendirme han sido mi fortaleza dándome ánimo y sabiduría a continuar.

También estoy muy agradecido a mi madre Elena, a mi mamita Carmelita a mis hermanos Salvatore y Ricky, mi papá Estefano y mi familia, que siempre me han dado ánimos a continuar cuando ya no creía lograrlo y siempre sacar la mejor versión de mí. Gracias por siempre ser comprensivos, atentos y apoyarme en todo este camino que tuve que recorrer y no dejarme solo.

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de formarme en su prestigiosa institución, así como por facilitarme los recursos y la infraestructura necesarios para llevar a cabo mi investigación. Asimismo, extendiendo mi sincera gratitud a los docentes que han acompañado este proceso, cuyo apoyo y orientación han sido fundamentales en la realización de este trabajo.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor, MSc. Alexander Guevara, así como a mis asesores, Ing. Santiago Zarate y MSc. Cathy Guevara, por su invaluable orientación y respaldo a lo largo del desarrollo de este trabajo de grado. Su experiencia y conocimiento han sido pilares fundamentales en la realización de esta tesis. Aprecio enormemente el tiempo y esfuerzo que dedicaron a revisar y perfeccionar este trabajo de grado.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mis amigos, quienes han sido parte fundamental de este viaje tanto académico como personal. Su compañía y apoyo han enriquecido esta experiencia, convirtiéndola en algo verdaderamente inolvidable. Cada momento compartido ha dejado una huella imborrable en mi vida y en mi corazón.

-David Alessandro Palacios Avellaneda

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	1
TABLA DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN.....	14
Tema.....	14
Problema.....	14
Antecedentes.....	14
Situación Actual	14
Prospectiva.....	15
Planteamiento del problema	16
Objetivos	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Alcance	18
Metodología	20
Justificación.....	22
CAPÍTULO I.....	25
1.1. Revisión de la Literatura.....	25
1.1.1. Unidad de análisis	26
1.1.2. Preguntas de investigación	26
1.1.3. Cadena de búsqueda	27
1.1.4. Búsqueda de artículos.....	27

1.1.5.	Selección de Artículos (Filtros de inclusión y exclusión)	28
1.1.6.	Estación de datos	29
1.1.7.	Síntesis de la información	33
1.2.	Biorreactores	34
1.2.1.	¿Qué son los Biorreactores?	35
1.2.2.	Tipos de Biorreactores	36
1.2.3.	Operación de Biorreactores	40
1.2.4.	Cultivo de Microorganismos	41
1.3.	Parámetros fisicoquímicos presentes en Biorreactores	43
1.3.1.	Luminosidad	43
1.3.2.	PH	44
1.3.3.	Turbidez	45
1.3.4.	Potencial Redox	47
1.4.	Recolección de datos	47
1.4.1.	Arduino	47
1.4.2.	Sensores	51
1.5.	Design Thinking como Metodología	53
	Implementar	54
	Testear	54
	Prototipar	54
	Idear	54
	Definir	54
	Empatizar	54
1.6.	Internet of Things (IoT)	54
1.7.	Herramientas para Arquitectura de Comunicación	55
1.7.1.	Azure IoT Hub	55
1.7.2.	Azure Stream Analytics	55

1.7.3.	Base de datos PostgreSQL.....	55
1.7.4.	Microsoft Power BI	56
CAPÍTULO 2.....		57
Desarrollo		57
2.1.	Proceso de Investigación	57
2.2.	Design Thinking como marco de trabajo	58
2.2.1.	Empatizar	59
2.2.2.	Definir.....	59
2.2.3.	Idear	59
2.2.4.	Prototipar.....	59
2.2.5.	Testear	59
2.2.6.	Implementar	59
2.3.	Gestión del proyecto en base a Design Thinking	60
2.3.1.	Comprensión del Proyecto	60
2.3.2.	Empatizar	61
2.3.3.	Definir.....	63
2.3.4.	Idear	65
2.3.5.	Prototipar.....	66
2.3.6.	Testear	85
2.3.7.	Implementar	89
CAPÍTULO III.....		120
3.1.	Análisis e Interpretación de Resultados	120
3.1.1.	Desarrollo.....	120
3.1.2.	Identificación de resultados	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		125
CONCLUSIONES.....		125
RECOMENDACIONES.....		126

Referencias 127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de Problemas.....	16
Figura 2. Alcance del trabajo de grado.	19
Figura 3. Flujo de proyecto.....	21
Figura 4. Pasos en el proceso de la metodología SLR.....	25
Figura 5. Partes placa Arduino UNO R3	49
Figura 6. Sensor de Turbidez SKU SE051.	52
Figura 7. Fases de Design Thinking.	54
Figura 8. Mapa de Proceso de Investigación.....	57
Figura 9. Proceso Design Thinking.	58
Figura 10. Biorreactores de la Carrera de Biotecnología.....	60
Figura 11. Áreas de Implementación de Biorreactores.....	60
Figura 12. Mapa de Empatía.....	62
Figura 13. Journey Map.	62
Figura 14. Arquetipo de Usuario.	63
Figura 15. Árbol de problemas.	64
Figura 16. Lluvia de Ideas.	65
Figura 17. Sensor de luminosidad.	66
Figura 18. Circuito electrónico V.2.	67
Figura 19. Máquina Virtual en Azure.....	68
Figura 20. Conexión a la Máquina Virtual.	69

Figura 21. Conexión a la Base de datos.	70
Figura 22. Diagrama de Base de datos en PostgreSQL.....	71
Figura 23. Diagrama de procesos de medición.	72
Figura 24. Historia de Usuario 1.....	76
Figura 25. Historia de Usuario 2.....	77
Figura 26. Historia de Usuario 3.....	77
Figura 27. Historia de Usuario 4.....	78
Figura 28. Historia de Usuario 5.....	78
Figura 29. Historia de Usuario 6.....	79
Figura 30. Historia de Usuario 7.....	79
Figura 31. Historia de Usuario 8.....	80
Figura 32. Historia de Usuario 9.....	80
Figura 33. Historia de Usuario 10.....	81
Figura 34. Historia de Usuario 11.....	81
Figura 35. Historia de Usuario 12.....	82
Figura 36. Historia de Usuario 13.....	82
Figura 37. Historia de Usuario 14.....	83
Figura 38. Historia de Usuario 15.....	83
Figura 39. Historia de Usuario 16.....	84
Figura 40. Visualización de datos del en consola.	85
Figura 41. Visualización de datos en consola del biorreactor.	85

Figura 42. Visualización de sensor de turbidez.	86
Figura 43. Datos de obtenidos con los sensores.....	87
Figura 44. Configuración de Wifi.....	87
Figura 45. Publicación de API en GitHub.....	88
Figura 46. Configuración de Json de la placa.....	89
Figura 47. Modelo 3D de almacenamiento.	89
Figura 48. Implementación del modelo en 3D.	90
Figura 49. Grupo de Recursos.	91
Figura 50. Centro de IoT en nuestro grupo de recursos.....	92
Figura 51. Dispositivo dentro de nuestro Centro IoT.	93
Figura 52. Creación de recurso de Stream Analytics.	93
Figura 53. Creación de Topología de trabajo.....	94
Figura 54. Configuración de nuestra base de datos.	95
Figura 55. Configuración de conexiones.....	95
Figura 56. Proyecto publicado en Git Hub.	96
Figura 57. Historia de Usuario 1 de la versión Alfa.....	97
Figura 58. Historia de Usuario 2 de la versión Alfa.....	98
Figura 59. Historia de Usuario 3 de la versión Alfa.....	99
Figura 60. Historia de Usuario 4 de la versión Alfa.....	99
Figura 61. Primera pantalla de Inicio.	100
Figura 62. Segunda pantalla de Campos de Luminosidad.....	101

Figura 63. Tercer pantalla de Campos de Turbidez.	101
Figura 64. Cuarta pantalla de datos del Biorreactor.	102
Figura 65. Encuesta de Socialización.	103
Figura 66. Encuesta Net Promoter Score.	104
Figura 67. Historia de Usuario 1 de la versión Beta.	106
Figura 68. Historia de Usuario 2 de la versión Beta.	106
Figura 69. Historia de Usuario 3 de la versión Beta.	107
Figura 70. Historia de Usuario 4 de la versión Beta.	107
Figura 71. Historia de Usuario 5 de la versión Beta.	108
Figura 72. Historia de Usuario 6 de la versión Beta.	108
Figura 73. Historia de Usuario 7 de la versión Beta.	109
Figura 74. Historia de Usuario 8 de la versión Beta.	109
Figura 75. Historia de Usuario 9 de la versión Beta.	110
Figura 76. Pantalla 1 de la versión Beta.	110
Figura 77. Pantalla 2 de la versión Beta.	111
Figura 78. Pantalla 3 de la versión Beta.	112
Figura 79. Pantalla 4 de la versión Beta.	113
Figura 80. Pantalla 5 de la versión Beta.	114
Figura 81. Pantalla 6 de la versión Beta.	114
Figura 82. Pantalla 7 de la versión Beta.	115
Figura 83. Pantalla 8 de la versión Beta.	116

Figura 84. Pantalla 9 de la versión Beta.	116
Figura 85. Encuesta de cumplimiento.	118
Figura 86. Encuesta de Net Promover Score.	119
Figura 87. Tabulación Pregunta 1.	120
Figura 88. Tabulación Pregunta 2.	121
Figura 89. Tabulación Pregunta 3.	121
Figura 90. Tabulación Pregunta 4.	122
Figura 91. Tabulación Pregunta 5.	122
Figura 92. Tabulación Pregunta 6.	123
Figura 93. Tabulación Pregunta 7.	123
Figura 94. Tabulación Pregunta 8.	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas de investigación para el tema de estudio.	26
Tabla 2. Cadena de búsqueda.	27
Tabla 3. Cantidad de artículos en los Motores de Búsqueda.	28
Tabla 4. Cantidad de artículos obtenidos aplicando los filtros de inclusión y exclusión.....	29
Tabla 5. Títulos de artículos obtenidos aplicando los filtros.....	29
Tabla 6. Síntesis de información.	33
Tabla 7. Atributos que poseen los biorreactores.	34
Tabla 8. Ventajas y desventajas en un biorreactor a nivel laboratorio.....	37
Tabla 9. Ventajas y desventajas en un biorreactor piloto y/o industrial.	39
Tabla 10. Tipos de microalgas procariontas y eucariotas con su descripción.....	41
Tabla 11. Unidades de medición de Turbidez.....	45
Tabla 12. Ventajas y desventajas de Arduino UNO R3.	50
Tabla 13. Características Sensor de Turbidez SKU SEN0189.	52
Tabla 14. Tabla de estimación de modelo T-Shirt en horas	74
Tabla 15. Lista de Historias de Usuario.....	75
Tabla 16. Lista de Historias de Usuario del Modelo Alfa.....	97
Tabla 17. Lista de Historias de Usuario de Modelo Beta.	105

RESUMEN

Actualmente la carrera de biotecnología cuenta en sus laboratorios con biorreactores a escala de laboratorio para el uso de sus estudiantes y análisis de cultivos de microorganismos, se ha visto afectado la conservación de estos por el tiempo que toma el analizar los cultivos perdiendo materia y variando los resultados de cada uno de ellos muchas veces por su mala manipulación.

El presente trabajo de grado tiene como finalidad desarrollar una solución de Internet of Things (IoT) para fortalecer el análisis y visualización de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez de un biorreactor a escala de laboratorio.

Con esto se ha planteado utilizar Design Thinking como metodología por el enfoque que tienen de innovación con interactuar con el usuario y el resolver sus problemas, empezando desde una base viable la cual se tomara para la experimentación y la tolerancia que puede llegar a fallar de manera repetitiva hasta tener un prototipo adecuado a los requerimientos del usuario.

Las conclusiones del trabajo de grado esta relacionadas a la eficiencia que tiene la toma de datos dentro del biorreactor y su exactitud, además que se aplicó el método de chi-cuadrado para verificar la dependencia de las variables tanto dependiente () que muestra una dependencia de () y la independiente ().

Finalmente, tomando en cuenta el potencial del presente proyecto se proponen recomendaciones en el caso del escalamiento a futuro de este.

Palabras Clave: Internet of Things (IoT), Design Thinking, Business Intelligence (BI), Arduino, Biorreactor, Fisicoquímicos.

ABSTRACT

Currently, the biotechnology program has laboratory-scale bioreactors in its laboratories for student use and microorganism culture analysis. However, the preservation of these cultures has been affected due to the time required for their analysis, often resulting in material loss and variability in results, frequently caused by improper handling.

This thesis aims to develop an Internet of Things (IoT) solution to enhance the analysis and visualization of the physicochemical parameters of luminosity and turbidity in a laboratory-scale bioreactor.

To achieve this, the Design Thinking methodology has been proposed due to its innovation-driven approach, which emphasizes user interaction and problem-solving. The process starts with a viable foundation for experimentation, allowing for iterative failures until an optimal prototype aligned with user requirements is achieved.

The conclusions of this study are related to the efficiency and accuracy of data collection within the bioreactor. Additionally, the chi-square method was applied to verify the dependency between variables, where the dependent variable () shows a correlation with (), and the independent variable ().

Finally, considering the potential of this project, recommendations are provided for its future scalability.

Keywords: Internet of Things (IoT), Design Thinking, Business Intelligence (BI), Arduino, Bioreactor, Physicochemical.

INTRODUCCIÓN

Tema

IoT como solución tecnológica para fortalecer la visualización de parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez en un biorreactor a escala laboratorio.

Problema

Antecedentes

Como se ha visto el uso de herramientas tecnológicas ha tenido grandes avances en el modelamiento, control y monitoreo de los procesos en biodigestores tomando en cuenta la temperatura, pH, luminosidad, turbidez, oxígeno entre otros parámetros fisicoquímicos.

El actual biorreactor a escala laboratorio se encuentra en el laboratorio de biotecnología, se encuentra instalado en un armario industrial adecuado con lámparas de luz que permanecen prendidas según la necesidad, los datos son recolectados por los investigadores 2 veces al día en periodos de 1 a 2 veces a la semana, estos son almacenados en hojas de cálculo en Excel cuya recolección es realizada por los investigadores de manera manual lo que llega a dificultar su análisis, en otras palabras se realiza manipulando el biorreactor, lo que ocasiona en algunos casos contaminación de las muestras biológicas y en algunas casos puede llegar a ver afectado a la pérdida y muerte del materia biológica, por lo que se minimiza al máximo tomar muestras manuales. La luz se mide con luxómetro y la turbidez con un turbidímetro ambos son equipos externos al biorreactor.

Situación Actual

Los datos obtenidos de los biorreactores a escala de laboratorio se están guardando en documentos que no tienen un formato adecuado lo cual llega a ocasionar fallos los más comunes como son la duplicidad, inconsistencia y pérdida de datos, lo cual nos produce

resultados nada eficientes, ni productivos, esto lleva a que en varias situaciones los encardados de estas mediciones tienen que realizar análisis de los cultivos de microalgas con datos que no se encuentran actualizados y los retrasos en ingestas, estos provenientes de dispositivos de medición de elementos fisicoquímicos de luminosidad y turbidez que están ubicados en los biorreactores de escala de laboratorio.

Para medir la producción fotosintética de las microalgas se utiliza el parámetro de luz y para la medición de producción de biomasa se utiliza los datos de turbidez de agua, en función a los cambios detectados en el proceso de fotosíntesis.

Luxómetro tiene la intención de medir la intensidad de energía lumínica que se le aplica a las células y de esta manera se saca un rendimiento, de hasta cuanta luz necesitan, cuál sería el límite máximo y mínimo para tener una cantidad determinada de células por unidad de tiempo y por unidad de volumen.

Turbidímetro permite determinar la cantidad de células que han crecido, entre más turbio es el medio de cultivo, significa que existe mayor cantidad de células suspendidas, es decir que han crecido más en función al tiempo, además se puede fijar a una determinada concentración o se puede valorar en el tiempo con relación al crecimiento de las células.

El no poder almacenar datos directamente para que se pueda realizar las investigaciones de los cultivos de microalgas en los biorreactores ubicados en los laboratorios de la carrera de biotecnología de la Universidad Técnica del Norte.

Prospectiva

Para el presente proyecto de titulación se ha planteado desarrollar una solución de IoT para fortalecer el análisis, visualización, conexión y monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez en la operación de un biorreactor a escala de laboratorio, para la recolección de datos del cultivo de las microalgas en tiempo real a través de sensores de medición encargados de ver parámetros fisicoquímicos de luminosidad y

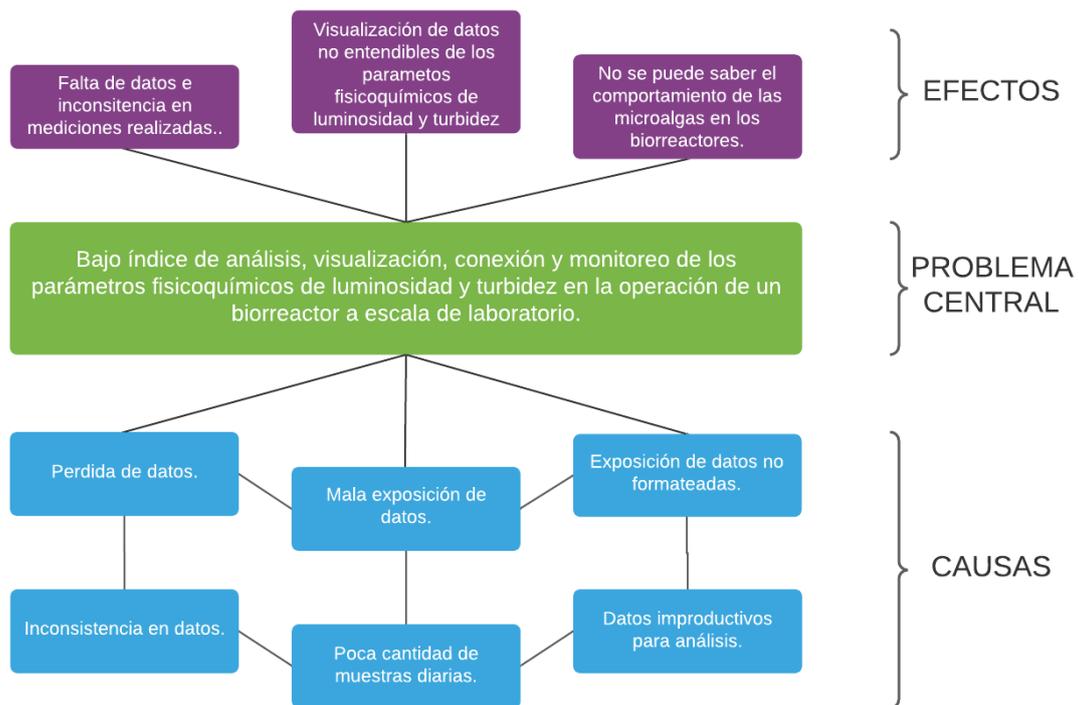
turbidez los cuales se van a integrar al biorreactor escala laboratorio de la carrera de biotecnología. Se ve a implementar de manera que el uso de IoT sea el encargado de la conexión y monitoreo de los datos, el uso de BI para el análisis y la visualización de los parámetros obtenidos.

Planteamiento del problema

La visualización de datos de lo obtenido de los biorreactores de la carrera de biotecnología de la Universidad Técnica del norte y la medición de estos tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez de las microalgas tomando en cuenta que los datos se quieren almacenar en una base de datos aplicando IoT para la obtención de datos en tiempo real y aplicar la visualización de datos mediante BI para que sea de una forma eficiente, para así mejorar el estudio e investigación de las actividades que se lleva a cabo. Se realizó en análisis de causas y efectos para a través del problema central del proyecto. Ver Figura 1.

Figura 1.

Árbol de Problemas.



Nota. En la figura se muestra el Árbol de problemas central. Fuente. Propia

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una solución de Internet of Things (IoT) para fortalecer el análisis y visualización de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez en la operación de un biorreactor a escala de laboratorio.

Objetivos Específicos

- Elaborar un marco teórico sobre soluciones de IoT en sistemas embebidos que midan parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez.
- Desarrollar un circuito electrónico embebido de medición de datos fisicoquímicos de luminosidad y turbidez integrados a un biorreactor a escala de laboratorio.

- Diseñar un centro de mensajes de datos en el análisis y visualización de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez en un biorreactor, aplicando IoT Hub, Stream Analytics y Power BI como arquitectura de comunicación.
- Validar los resultados obtenidos del de la investigación propuesta mediante una prueba estadística.

Alcance

En el proyecto de tesis lo que se plantea es el uso de IoT para el envío de datos tomados en tiempo real de los biorreactores de la carrera de Biotecnología, que estos se muestren en paneles en los cuales se los toma con parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez los cuales ayudaran a mejorar el análisis y la visualización de la información que se va a obtener, la cual se genera de los dispositivos de medición que se implementara en el biorreactor de la carrera de Biotecnología.

Se va a implementar la medición de parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez, el sensor de turbidez ayudara a medir de forma adecuada que tan turbia se encuentra el agua y se integrará dentro de un diodo infrarrojo y un fototransistor, que se ubicaran frente a frente para que se pueda medir su dispersión mediante la transmitancia de luz y detectar partículas suspendidas en el agua o TSS (Total Suspended Solids). Además, ofrecerá una salida analógica que varía con la cantidad de turbidez de agua y la salida digital que será capaz de ver niveles de impureza.

Se va a implementar la medición de parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez, el sensor de turbidez medirá que tan turbia se encuentra el agua, el sensor se integrará dentro de un diodo infrarrojo y un fototransistor que se ubicaran frente a frente para que pueda medir su dispersión y la transmitancia de luz, con ello poder detectar partículas suspendidas en el agua o TSS (Total Suspended Solids). El sensor ofrecerá una

salida analógica que varía con la turbidez del agua y la salida digital que es capaz de ver si el agua se encuentra turbia.

Por otro lado, el sensor de luminosidad el cual es capaz de medir la intensidad luminosa, una de las ventajas del sensor es que se puede configurar para que midan desde 0.1 hasta más de 4000 luxes en tiempo real, también son capaces de medir la intensidad luminosa tanto de luz visible como de luz infrarroja en el área de aplicación.

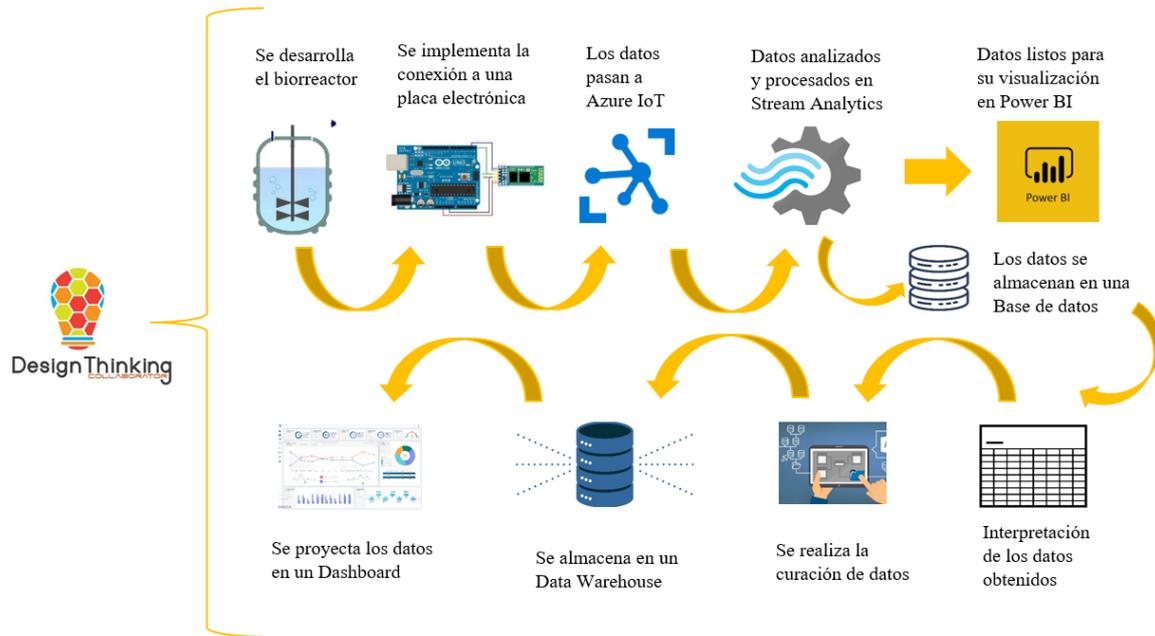
Para la parte de BI del proyecto se utilizará la herramienta de Microsoft Power BI que permite visualizar datos de forma segura y rápida, cualidades como la capacidad de presentar los informes extraídos transformados y cargados (ETL), lo que ayuda a conectar los datos en la nube y logra transmitir para que se pueda observar los datos más recientes sin tener que descargar de forma manual, independientemente de que sea un proceso automatizado de manera que el usuario debe interactuar lo menos posible para determinar los cambios fisicoquímicos de luminosidad y turbidez resultantes (Cloded Mendez, 2019).

Además, se implementará el envío de datos en la herramienta de Stream Analytics provista por Azure, que se encargará de realizar analíticas complejas sin pasar por los frameworks de procesamiento de la máquina virtual. Generando procesos robustos con el uso del lenguaje SQL, el cual se puede aplicar código JavaScript y C# en caso de necesitar un proceso más avanzado. Ofreciendo la capacidad de crear escenarios de consola de transmisión ETL de baja latencia y generación de notificaciones en tiempo real con un clic en la fuente y el receptor (Azure, n.d.-a).

Para el circuito electrónico se plantea implementar al biorreactor de microalgas, a través de embebidos y utilizando herramientas de medición de datos fisicoquímicos de luminosidad y turbidez, se aplicará Design Thinking como marco de trabajo para el desarrollo del componente electrónico como se visualiza en la Figura 2.

Figura 2.

Alcance del trabajo de grado.



Nota. Alcance del trabajo de grado usando Desing Thinking. Fuente. Propia

Metodología

Para cumplir con el primer objetivo, se realizará una revisión sistemática de la literatura aplicando el método SLR con las siguientes etapas: definición de la unidad de análisis con un enfoque en el área de estudio; definición de la secuencia de búsqueda, para la recuperación de artículos, se identificara, seleccionara, evaluara, extraerán y agregarán los datos de cada estudio seleccionado; se aplicara criterios de inclusión y exclusión guiados por filtros (año de publicación, factor de impacto, etc.); y se presentaran los resultados a través de una matriz de conceptos relacionados con el marco teórico definido en el estudio de soluciones de BI para analizar y visualizar parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez, utilizando diversas bases de datos bibliográficas como Scopus, Science Direct, entre otras fuentes de datos (Tober, 2011).

Se plantea al igual realizar un análisis enfocando en la recolección de datos que se está tomando actualmente, para después parametrizar los tipos de datos que son medios y posteriormente hacer una limpieza para que se puedan usar.

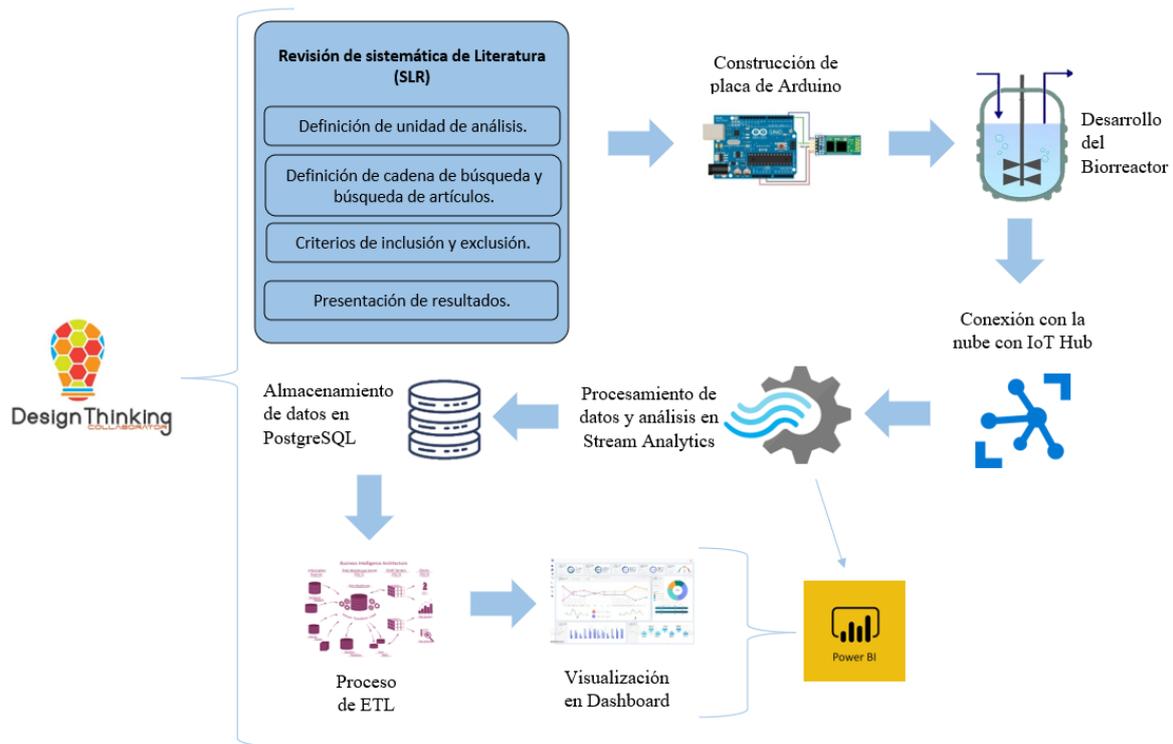
Para el desarrollo del segundo objetivo que se planteó el desarrollo de una placa electrónica embebida, la cual será la encargada de realizar las mediciones fisicoquímicas de luminosidad y turbidez a escala de laboratorio, para ello se realizara el análisis de las herramientas necesarias, posteriormente se ensamblaran las piezas necesarias dentro de un circuito integrado dentro del biorreactor a escala de laboratorio para una obtención de datos precisos y de fácil acceso (Tosini et al., 2013).

Además, se diseñará un centro de mensaje de datos en el cual se va a analizar, visualizar, conectar y monitorear los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez dentro de un biorreactor a escala de laboratorio, donde se aplicará Azure IoT Hub, Stream Analytics y Power BI como arquitectura de comunicación para la visualización de datos procesados que sea entendibles para los investigadores (Ara & Ara, 2018).

Para cumplir el tercer objetivo, se realizará verificaciones en donde podamos visualizar informes, uso de IoT, paneles de presentación de Business Intelligence para identificar niveles de crecimiento y factores fisicoquímicos que afecten a la productividad de las microalgas, así como determinar picos crecientes o decrecientes del comportamiento biológico de los datos (Ara & Ara, 2018). Figura 3.

Figura 3.

Flujo de proyecto.



Nota. Flujo del proyecto mediante la metodología planteada. Fuente. Propia

Justificación

Con el presente trabajo de titulación lo que se busca es el implementar una mejora en el análisis del cultivo de microalgas en biorreactores para calcular su estudio, cuidado y medir su crecimiento, lo que se busca es el poder solucionar uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el objetivo que se planea es el ODS N°9 “Industria, Innovación e Infraestructuras” cual su objetivo es el “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” en el cual nos vamos a concentrar en dos metas que nos propone el objetivo, el cual el primero es el modernizar infraestructuras de empresas en este caso lo aplicamos a la carrera de Biotecnología de la Universidad Técnica del Norte, utilizando recursos de mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías, la otra meta en la cual nos vamos a enfocar es en “Aumentar la investigación científica y el mejorar la capacidad tecnológica”.

Otro objetivo planteado es la ODS N°14 “Vida Submarina”, lo que se plantea en esta es que con el estudio que se realiza en las microalgas las cuales se encuentran en los biorreactores, se obtengan mejores resultados los cuales ayude a que estos estudios sean una alternativa de implementación en la base de la cadena trófica submarina, ya que las microalgas se encuentran en la parte más baja lo cual también ayudaría a la industria acuícola para ayudar a evitar la pesca desmedida la cual amenaza a varias especies de peces.

Justificación tecnológica

Lo que se busca con este trabajo de tesis es ayudar con la recolección de datos de los biorreactores que se encuentran en la carrera de biotecnología, implementando un circuito electrónico el cual se va a buscar el uso de IoT para el envío de datos y la presentación de estos a través de Business Intelligence para un mejor entendimiento por parte de los investigadores.

Justificación Teórica

Se plantea que a través de esta investigación poder solucionar varios problemas como son la toma de datos, los mismos que han sido alrededor de este tiempo tomados a mano y el implementar una placa electrónica la que facilitara a los investigadores a continuar con sus investigaciones de una manera eficiente y correcta.

Justificación Ambiental

El presente proyecto ayudara a la medición de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez de los biorreactores a escala de laboratorio, de igual modo esto ayudaría a que la investigación de estos sea más fácil y precisas porque se ha visto la

inconsistencia de datos presentes en sus mediciones ya sea por contaminación por partes de los instrumentos de medición que se usa actualmente.

CAPÍTULO I

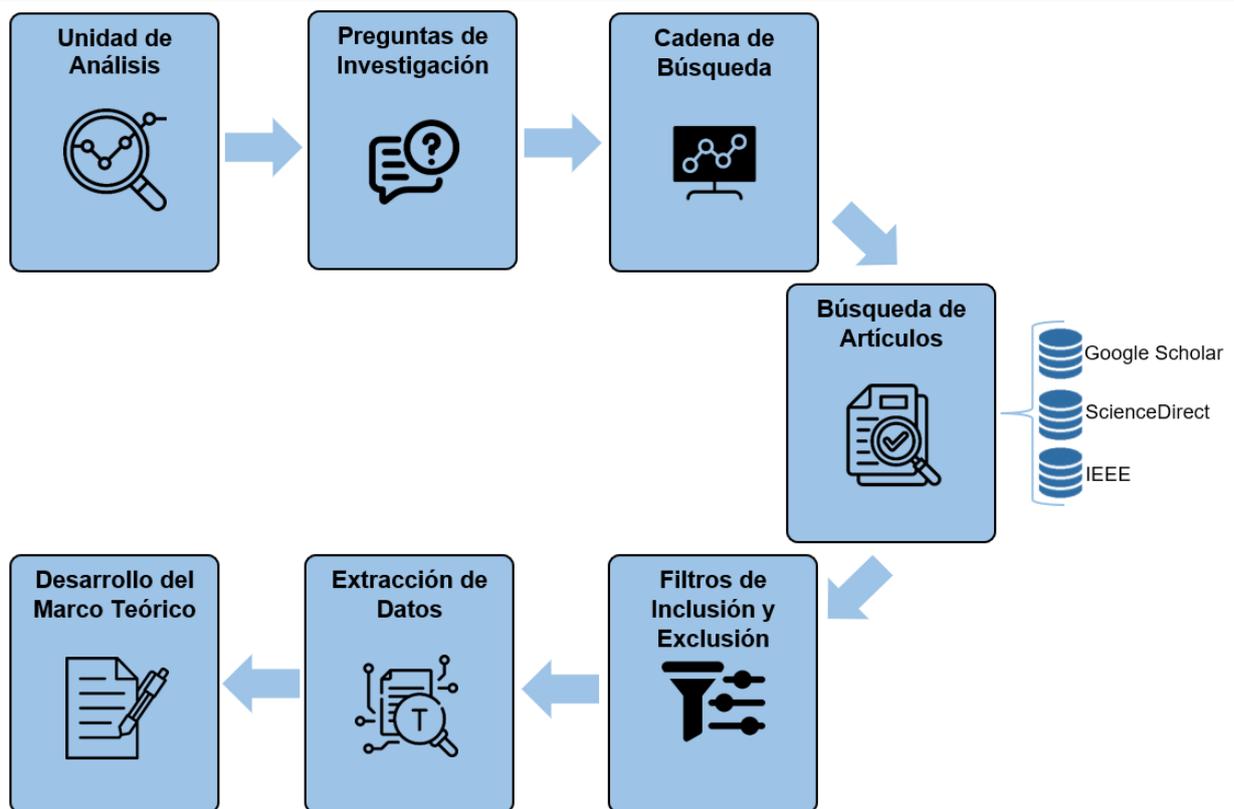
1.1. Revisión de la Literatura

La revisión sistemática o SLR (Systematic Literature Review) es un método que analiza y comprende toda la investigación existente sobre un tema o fenómeno específico de interés, con el fin de mejorar la base del estudio en ese campo. SLR nos aporta una fuente más confiable y validada que incluye una búsqueda más exhaustiva y objetiva (Hossain et al., 2022).

SLR tiene unos pasos a seguir para que pueda ser aplicado como podemos ver en la figura 4.

Figura 4.

Pasos en el proceso de la metodología SLR



Nota. En la figura se muestra el proceso que se debe seguir para la aplicación de la metodología SLR. Fuente. Propia

1.1.1. Unidad de análisis

Analizar y comprender soluciones tecnológicas que ayuden a fortalecer la visualización de parámetros fisicoquímicos de un biorreactor a escala de laboratorio.

1.1.2. Preguntas de investigación

Al plantear estas preguntas nos ayuda a definir una base de búsqueda para que podamos responder el problema central de la investigación (Hossain et al., 2022).

Para ello podemos apreciar en la tabla 1 preguntas de investigación que se ha planteado que utilizara para resolver el problema central.

Tabla 1.

Preguntas de investigación para el tema de estudio.

No	Preguntas de Investigación	Motivación
1	¿Cuáles son los tipos de biorreactores más utilizados para cultivo de microalgas y como es su manejo?	Conocer tipos de biorreactores y como se operan para su aplicación en el cultivo de microalgas.
2	¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos que se puede recolectar en un biorreactor para su visualización?	Analizar cuál es la mejor opción para la implementación de un sensor que pueda ser aplicado para su medición en tiempo real.
3	¿Qué herramientas existen para medir en tiempo real parámetros fisicoquímicos en un biorreactor aplicando IoT?	Comparar opciones y conocer posibles soluciones para la aplicación de sensores dentro de un biorreactor.
4	¿Qué metodología se puede utilizar para aplicar una arquitectura de comunicación con una solución en BI?	Analizar la metodología que vaya más acorde al tema y aplicarlo dentro del proyecto de investigación.

5	¿Cómo se puede visualizar los datos obtenidos en tiempo real para su análisis aplicando BI?	Investigar la mejor opción para la visualización de datos y poder aplicar un Dashboard para su visualización.
---	---	---

Nota. En la tabla se puede visualizar las preguntas de investigación para el desarrollo del marco teórico. Fuente. Propia

1.1.3. Cadena de búsqueda

Según Carrizo y Moller, una cadena de búsqueda en SLR es la forma de investigar en bases de datos o fuentes de información que almacenan los estudios primarios pertinentes para la revisión (Carrizo & Moller, 2018).

Como podemos ver en la tabla 2, se desarrolló una cadena de búsqueda para aplicar en los distintos repositorios de información.

Tabla 2.

Cadena de búsqueda.

Cadena de búsqueda
(technology OR software) OR (bioreactor) OR (BI OR (business AND intelligence) OR (data AND collection AND sensor) OR (physicochemical AND variations) OR (internet AND of AND things)

Nota. En la tabla se puede ver la cadena de búsqueda que se utilizar en repositorios de información. Fuente. Propia

1.1.4. Búsqueda de artículos

Realizada las preguntas de investigación y la cadena de búsqueda procedemos a la búsqueda de artículos, para ello se sacó de información de varios repositorios de información como son: Google Scholar, ScienceDirect y IEEE, empezando la búsqueda desde el año 2018 para adelante.

Una vez realizada la búsqueda como vemos en la tabla 3 los artículos obtenidos de cada repositorio que se realizó la búsqueda.

Tabla 3.

Cantidad de artículos en los Motores de Búsqueda.

Motor de Búsqueda	Resultado
Google Scholar	15 800
ScienceDirect	278 499
IEEE	87 618
Total	381 917

Nota. En la tabla se puede ver la cantidad de artículos en diferentes repositorios usando la cadena de búsqueda. Fuente. Propia

1.1.5. Selección de Artículos (Filtros de inclusión y exclusión)

Para la selección de artículos se va a aplicar varios filtros con criterios de inclusión y de exclusión. Los criterios para la selección se realizarán por medio de varias fases como son:

Fase 1: En esta etapa se aplicará únicamente la cadena de búsqueda que se ha mencionado anteriormente.

Fase 2: En la siguiente etapa se incluye un filtro de publicaciones de hace 5 años atrás, es decir desde 2018 en adelante.

Fase 3: En esta etapa dependiendo el repositorio en el cual se realizará la búsqueda se aplicaron distintos filtros, tanto del idioma, el tipo de documento o artículo, temas, disciplinas y subdisciplinas.

Fase 4: Para la etapa final, se analizan los artículos que incluyan las palabras claves que se sacó de la cadena de búsqueda y se empieza con la lectura de artículos para seleccionar los adecuados con la investigación.

Ya filtrados los artículos científicos en los repositorios de búsqueda, podemos observar en la tabla 4 los resultados obtenidos.

Tabla 4.

Cantidad de artículos obtenidos aplicando los filtros de inclusión y exclusión.

Motores de búsqueda artículos	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Google Scholar	907.000	15.800	115	6
ScienceDirect	742.474	278.499	20	6
IEEE	6.087.494	87.618	19	4
Total	7.736.968	381.917	141	16

Nota. En la tabla se ve la cantidad de artículos encontrados aplicando cada fase de filtros en la selección de artículos. Fuente. Propia

1.1.6. Estación de datos

Luego de llegar a la etapa 4 aplicando filtros de inclusión y exclusión en la selección de artículos, obtenemos los siguientes artículos que nos serán útiles como podemos ver en la tabla 5.

Tabla 5.

Títulos de artículos obtenidos aplicando los filtros.

Código	Título	Autor	Año
A1	Diseño, construcción y validación de un biorreactor a escala de laboratorio con sistema de control automático	Arias Valladolid Juan Andrés	2018
A2	Efecto de la luminosidad en la	Balcázar Rojas Natali Marisidory,	2021

	descomposición de la materia orgánica en aguas residuales domésticas	Ramos Yangua Kevin Jeampierre	
A3	Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático	Carrizo Dante, Moller Carlos	2018
A4	Influencia del fotoperiodo, intensidad y color de luz en la producción de biomasa de spirulina (artrosphira platensis) en biorreactores abiertos	Delgado Trelles Belén Stephanie	2022
A5	Diseño y Simulación de Control de temperatura y pH para el inicio de un biorreactor tipo Batch	Lizcano Pulido Angie Katherine, Morales Toscano Andrea Carolina, Naranjo Lourido Walter, Martínez Baquero Javier Eduardo	2021
A6	Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software	Vidal Silva Cristian, Linerós Matías, Uribe Guillermo, Olmos César	2019

A7	A Comprehensive Study on Issues and Challenges Related to Privacy and Security in IoT.	Chaurasia Nishant, Kumar Prashant	2023
A8	SMEs in Covid-19 Crisis and Combating Strategies: A Systematic Literature Review (SLR) and A Case from Emerging	Hossain Mohammad Rokibul, Akhter Fahmida, Sultana Mir Misnad	2022
A9	A low-cost, accessible, and high-performing Arduino-based seawater pH control system for biological applications	McLean Keegan, Pasulka Alexis, Bockmon Emily	2021
A10	Real-time power dispatch in a standalone hybrid multisource distributed energy system using an Arduino board	Meje Kelebogile Confidence, Bokopane Lindiwe, Kusakana Kanzumba, Siti Mukwanga	2021
A11	IoT cloud laboratory: Internet of Things architecture for cellular biology	Parks David, Voitiuk Kateryna, Geng Jinghui, Elliott, Matthew, Keefe Matthew	2022
A12	An overview of IoT architecture, technologies, and	Domínguez Bolaño Tomás, Campos Omar, Barral	2022

	existing open-source projects	Valentín, Escudero Carlos	
A13	Design and Implementation of an Open-Source Framework and Prototype for Named Data Networking-Based Edge Cloud Computing System	Rehmat Ullah, Muhammad Atif Ur Rehman, Byung- Seo Kim	2019
A14	Amazon, Google and Microsoft Solutions for IoT: Architectures and a Performance Comparison	Paola Pierleoni, Roberto Concetti, Alberto Belli, Lorenzo Palma	2019
A15	Secure Edge Computing Management Based on Independent Microservices Providers for Gateway-Centric IoT Networks	Wenquan Jin, Rongxu Xu, Taewan You, Yong-Geun Hong, Dohyeun Kim	2020
A16	ETSI SmartBAN Architecture: The Global Vision for Smart Body Area Networks	Matti Hämäläinen, Lorenzo Mucchi, Marc Girod-Genet, Tuomas Paso, John Farserotu	2020

Nota. En la tabla podemos ver el nombre de los artículos, los autores y el año de publicación.

Fuente. Propia

1.1.7. Síntesis de la información

Después de leer y analizar los artículos seleccionados, se elabora una matriz en la cual destacamos los conceptos relacionados con el tema planteado como vemos en la tabla 6.

Tabla 6.

Síntesis de información.

Código Artículo	Tipos de Biorreactores y su aplicación	Cultivo de microalgas y parámetros fisicoquímicos	Sensores de recolección de datos y aplicación de IoT	Metodologías aplicables en arquitecturas de comunicación	Desarrollo de Dashboard y aplicación de BI
A1	X	X	X	X	X
A2	X	X	X		
A3		X		X	X
A4			X		X
A5	X	X	X	X	
A6		X	X		X
A7		X	X	X	X
A8	X	X	X		X
A9	X	X		X	X
A10	X			X	X
A11		X	X		X

A12	X	X		X	
A13	X		X	X	
A14		X	X		X
A15		X		X	
A16			X	X	X

Nota. En la tabla podemos visualizar la síntesis de información y que temas hay en los artículos científicos. Fuente. Propia

1.2. Biorreactores

Según BIOPHARMA en su publicación en el sitio web Klinea, un biorreactor es un contenedor en el que se establecen condiciones controladas para permitir el crecimiento y desarrollo de organismos vivos o sustancias bioquímicamente activas en una reacción específica. Debido a la amplia gama de procesos que pueden llevarse a cabo en un biorreactor, existen varios tipos de estos recipientes y pueden ser clasificados de diversas maneras en función de sus características y aplicaciones (BIOPHARMA, 2020).

Los biorreactores en su mayoría incluyen algunos atributos que se visualizan en la tabla 7.

Tabla 7.

Atributos que poseen los biorreactores.

Atributos	Descripción
Jacket	El jacket en un biorreactor es una cubierta externa conectada a una fuente de líquido que se utiliza para regular la temperatura del biorreactor.

Entrada de ácido y base	Tiene como función regular el pH del medio de cultivo dentro del biorreactor, mediante su ajuste y control.
Entrada de gases estériles	Los gases pueden ser O ₂ para el cultivo celular, CO ₂ para el proceso de fermentación y el N ₂ para eliminar el oxígeno presente.
Entrada aséptica	Sirve para evitar la contaminación del cultivo celular o del medio de cultivo por microorganismos no deseados.
Filtro de ventilación	Normalmente se trata de una membrana hidrofóbica de 0.2µm, que actúa como barrera para prevenir la contaminación externa y la liberación de células al entorno.
Variabilidad del tipo y el número de palas	La correcta agitación y mezcla son fundamentales para crear un ambiente uniforme y propicio para el desarrollo celular y la producción de compuestos biológicos.
Sondas para análisis de parámetros	Se analiza los parámetros fisicoquímicos como son el O ₂ , pH, turbidez, luminosidad, entre otros.

Nota. Elaboración propia.

1.2.1. ¿Qué son los Biorreactores?

Un biorreactor se puede definir como un dispositivo que llega a proporcionar un ambiente controlado del cual se puede tener un crecimiento idóneo de células y formaciones de productos. El medioambiente que puede dar un biorreactor se mide por medio de los niveles de pH que llegan a proporcionar de igual manera del sustrato, sales y oxígeno para que las materias primas puedan llegar a producir un producto que se requiera a través del metabolismo (Arévalo et al., 2003).

Del mismo modo biorreactor es aquel que llega a mantener un ambiente biológico dentro de un recipiente o sistema. En otros casos dentro de un biorreactor se puede realizar

procesos químicos en donde se ven presente organismos y sustancias que vienen de los organismos que se están utilizando. Los procesos que se llevan a cabo pueden ser tanto de manera aeróbico o anaerobio. Una característica que presenta un biorreactor es que su forma mayormente es cilíndrica que pueden ir desde una capacidad de mililitros hasta llegar a soportar metros cúbicos (Universidad Veracruzana, s/f).

Para la construcción de un biorreactor las materias más usadas pueden llegar a ser el vidrio y el acero inoxidable por que presentan una ventaja la cual es asépticas y resistente a corrosión lo que ayuda a incrementar su vida útil y su productividad. De acuerdo con las necesidades requeridas un biorreactor puede ser aeróbicos que son aquellos que necesita de un medio para que mantenerse oxigenados y anaerobios que son aquellos que no necesitan oxigenación para que se pueda obtener un producto final (Arias Valladolid, 2018).

1.2.2. Tipos de Biorreactores

Algunos ejemplos de biorreactor tenemos de tanque agitado, conforme al tiempo que ha pasado se ha perfeccionado de ambientes idóneos de cultivos vivos. Se emplea sensores en el interior de los vasos conectados a sensores de control automático para medir la temperatura, pH, oxígeno disuelto y otros parámetros de interés. También el uso idóneo de aireación y agitación nos garantiza niveles óptimos para oxígeno dentro del mezclado. Los biorreactores de pequeña escala resultan útiles para procesos de escalado y reducción, optimización de cepas, caracterización y desarrollo de procesos (Manuel et al., 2015).

Los biorreactores a escala de laboratorio se emplean para investigar el crecimiento de células y microorganismos bajo diversas condiciones, así como para producir productos biológicos. Los biorreactores a escala Piloto son más grandes que los biorreactores a escala de laboratorio y se utilizan para la producción de productos biológicos en pequeñas

cantidades. Los biorreactores a escala industrial son aún más grandes y se utilizan para la producción de productos biológicos a gran escala (Seepsa, s/f).

Para la fermentación en medio sólido se emplea algunos dispositivos en laboratorios. Para llevar a cabo reacciones biológicas son las cajas Petri y los matraces Erlenmeyer los más utilizados. Estos instrumentos son preferidos por su sencillez, ya que no necesitan agitación o aireación forzada, sino que se controla solamente la temperatura del ambiente de incubación. En la actualidad, existen dos categorías de procesos de fermentación en medio sólido: la escala laboratorio, en la cual se utilizan cantidades pequeñas de medio sólido, de unos pocos kilogramos, y la escala piloto e industrial, en las que se manejan desde kilogramos hasta toneladas (Ruíz-Leza et al., 2007).

En la tabla 8 y tabla 9 podemos ver varios diseños de biorreactores a escala de laboratorio con una gran variedad y a nivel piloto y/o industrial.

Tabla 8.

Ventajas y desventajas en un biorreactor a nivel laboratorio.

BIORREACTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Columna	Económico, fácil ensamblaje, supervisión y revisión de humedad, temperatura, microorganismos y CO ₂ .	Preferencias en O ₂ , dificultad a la hora de tomar muestras y complicaciones en disipar el calor.
Columna Estéril	Supervisión de temperatura y humedad. Esterilización, anticipada inoculación y emplear toma de muestras.	La generación de gradientes de concentración de oxígeno y nutrientes.
Tambor horizontal	Se pueden encontrar diferentes diseños que mejoran la eliminación	El daño a la estructura micelial hace que sea difícil controlar la

	del calor al aumentar la aireación y la mezcla del sustrato.	temperatura y la humedad, y además se utiliza muy poco volumen en el tambor.
Zymotis	Mejora en la transferencia de calor.	Se presentan dificultades de asepsia durante el proceso debido a una mayor compactación de la cama de sustrato.
Growtek	La facilidad de muestreo mejora debido al mayor contacto entre el medio de cultivo y el soporte sólido, lo que a su vez reduce la acumulación de calor en la cama de sustrato.	Este sistema carece de un método de aireación y solo permite la manipulación de una única carga de líquido.
Proceso continuo	La disminución del tiempo de residencia mejora la mezcla y el crecimiento del hongo, lo que a su vez aumenta la asepsia.	La transferencia de calor no es uniforme, lo que puede llevar a la aglomeración de células debido al rompimiento de la estructura micelial.
Columna-Charola	Este método resulta económico y presenta una alta transferencia de oxígeno y aireación, así como una mayor transferencia de nutrientes. Además,	El primer prototipo tiene como objetivo optimizar la cantidad y el tamaño de las bandejas dentro del volumen del cilindro.

permite la eliminación sencilla de altas temperaturas.

Nota. (Ruíz-Leza et al., 2007)

Tabla 9.

Ventajas y desventajas en un biorreactor piloto y/o industrial.

BIORREACTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Biocon	El control de las variables que influyen en el crecimiento microbiano se lleva a cabo de manera automatizada, mientras que se garantizan altos niveles de asepsia y el equipo es compacto.	La toma de muestra presenta dificultades debido a la rápida generación de calor exotérmico a causa del crecimiento microbiano.
Columna Estéril	La operación de forma continua permite una menor aglomeración del sustrato, un aumento en la transferencia de oxígeno y humedad, y ofrece una variedad de configuraciones de soporte.	La formación de altos esfuerzos cortantes puede afectar tanto a los microorganismos como al rendimiento del producto.

Nota. (Ruíz-Leza et al., 2007)

1.2.3. Operación de Biorreactores

Inoculo

Un inoculo es una cantidad de microorganismos o una población microbiana diversa que se agrega a un medio de cultivo para iniciar o propagar el crecimiento de microorganismos, especialmente en el contexto del tratamiento de aguas residuales o la eliminación de contaminantes en los filtros. El inóculo puede ser un consorcio general con una amplia especificidad de sustrato o un cultivo especializado con afinidad por un contaminante particular. También se menciona que los lodos activados de las plantas de tratamiento de aguas residuales son una fuente común de inóculo, pero se están explorando alternativas debido a preocupaciones de salud (Devino et al., 1998).

Solución Stock

Una solución stock es definida como una concentración inicial de una solución, la cual debe ser diluida a una concentración menor para su uso real en una solución de trabajo. Esta solución stock puede ser utilizada como componente en una solución más compleja o puede ser usada por sí sola. El uso de soluciones stock ofrece varias ventajas, como el ahorro de tiempo, la conservación de materiales, la reducción del espacio de almacenamiento necesario y una mayor precisión en la preparación de soluciones y reactivos. Aunque no es absolutamente necesario usar soluciones stock, a menudo es impráctico no hacerlo (Caprette, 2012).

Bicarbonato de Sodio

Bicarbonato sódico es una disolución de base que se puede agregar a la biofiltración para neutralizar el exceso de acidez generado por la creación de subproductos de carácter ácido en la degradación de ciertos contaminantes, como compuestos de azufre u organoclorados. En la biofiltración, el pH es un factor importante que afecta la eficiencia de

eliminación de contaminantes y la actividad de los microorganismos. Algunas especies de microbios son activas a bajos pH, mientras que otras lo son a altos pH y otras son tolerantes a ciertos rangos específicos. La eliminación de BTEX es máxima en un rango de pH entre 5-8, y disminuye drásticamente entre 8-8,5(Santos, 2015).

1.2.4. Cultivo de Microorganismos

Microalgas

Según Niizawa (2015), las microalgas son pequeños organismos vegetales que no tienen una estructura diferenciada y que utilizan principalmente la clorofila como pigmento fotosintético. Se usa diferentes criterios para clasificar las microalgas, como los pigmentos que contienen, la naturaleza química de los productos de almacenamiento, la estructura de las paredes celulares, los ciclos sexuales, entre otros, es posible dividir las en dos tipos celulares básicos, los procariontes y los eucariontes. Las microalgas se pueden clasificar en 11 divisiones, de las cuales 2 son procariontes y 9 son eucariontes (Niizawa, 2015).

En la tabla 10 podemos visualizar los diferentes tipos de microalgas procariontes y eucariontes que existen y una descripción.

Tabla 10.

Tipos de microalgas procariontes y eucariontes con su descripción.

Tipos de Microalgas	Descripción
Cyanophyta y Prochlorophyta	Son microorganismos que pertenecen al grupo de las bacterias Gram negativas y no tienen capacidad de movimiento. Obtienen su energía a través de la fotosíntesis y se reproducen asexual.
Glaucophyta	Son microorganismos unicelulares con flagelos que se encuentran comúnmente en aguas dulces. Se cree que su reproducción es solo asexual.

Rhodophyta	En su mayoría son algas marinas de gran tamaño, aunque también pueden incluir algunas microalgas unicelulares. La mayoría de ellas son fotoautótrofos obligados, lo que significa que necesitan la luz del sol para sobrevivir.
Heterokontophyta	Son organismos flagelados que se encuentran principalmente en ambientes marinos, aunque también pueden vivir en aguas dulces y ambientes terrestres. pueden crecer tanto mediante la fotosíntesis como mediante la absorción de nutrientes de otros organismos.
Haptophyta	Son organismos unicelulares que se encuentran comúnmente en ambientes marinos, aunque también pueden habitar aguas dulces y terrestres. Tienen la capacidad de crecer tanto en forma foto autótrófica como heterotrófica.
Cryptophyta	Son organismos unicelulares con flagelos que se encuentran en ambientes marinos y de agua dulce. Pueden crecer tanto de manera fotoautotrófica como heterotrófica.
Dinophyta	Son microorganismos unicelulares con flagelos, que pueden vivir en agua dulce o marina. Algunas especies son capaces de obtener energía a través de la fotosíntesis, mientras que otras no pueden, ya que carecen de plástidos.
Euglenophyta	Son seres vivos principalmente unicelulares y con flagelos, aunque algunos pueden formar colonias. Pueden encontrarse en ambientes acuáticos y terrestres. Solo se ha observado reproducción asexual en este grupo.
Chlorarachniophyta	Es un conjunto de algas unicelulares que se alimentan de la luz y se localizan en ambientes marinos. Pueden reproducirse por medio de la reproducción sexual y asexual.

Nota. (Niizawa, 2015)

1.3. Parámetros fisicoquímicos presentes en Biorreactores

Los factores ambientales, operativos y biológicos influyen en las especies algales predominantes en un sistema abierto. En un sistema cerrado, es posible cultivar una sola especie, sin exposición al ambiente exterior. Cuando se cultivan microalgas para ficorremediación, se requieren tres condiciones clave: una alta tasa de crecimiento, una alta tolerancia a las variaciones estacionales y diarias (si el sistema es abierto), y la capacidad de formar agregados para la cosecha. Además, es deseable que las células tengan altos niveles de componentes valiosos, como lípidos para la producción de biodiesel (Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

1.3.1. Luminosidad

Para el crecimiento de cianobacterias en sistemas de cultivo abiertos o cerrados, incluyen la fuente e intensidad de luz. En cultivos abiertos, la luz solar es la principal fuente de energía, mientras que en sistemas cerrados existen varias opciones de iluminación como lámparas de tungsteno, fluorescentes y luz LED. La intensidad puede verse afectada por diversos factores, como la distancia entre la fuente lumínica y el biorreactor, forma del biorreactor, la longitud de onda, la concentración celular, la formación de biopelículas en las paredes y la producción de productos. Estos factores pueden causar una sombra que provoca la formación de dos zonas distintas, una oscura y otra iluminada (Balcázar Rojas & Ramos Yangua, 2021):

- Zonas iluminadas: Las células reciben la cantidad de luz necesaria para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.
- Zonas Oscuras: Las células reciben una cantidad reducida o casi nula de luz para su metabolismo.

En una tesis realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa ubicada en Perú nos habla de que algunos aspectos que se debe considerar son es la influencia del fotoperiodo, la intensidad y el color de la luz (Delgado Trelles, 2022):

- El fotoperiodo: tiene una influencia significativa en sus ciclos de vida y actividades metabólicas tanto en su ambiente natural como en su cultivo en laboratorios. En los laboratorios se utiliza a menudo una iluminación continua para estimular la división celular en algunas especies como las diatomeas. Usar el fotoperiodo de manera apropiada en el cultivo de microalgas puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad de producción.
- La intensidad: juega un papel crucial en el cultivo de algas y su impacto varía en función de la densidad y la profundidad del cultivo. A medida que la profundidad y la concentración celular aumentan, se requiere una mayor intensidad de luz para penetrar en el cultivo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que una intensidad de luz excesivamente alta puede tener efectos negativos y provocar la fotoinhibición.
- Color de la luz: es un aspecto significativo que tiene un impacto en los biorreactores de algas, ya que determina qué tipo de radiación electromagnética es absorbida por las microalgas. Cada variedad de alga tiene una gama de luz óptima que ayuda a su crecimiento y a la producción de compuestos beneficiosos.

1.3.2. PH

Es necesario mantener condiciones ideales de temperatura y pH en el interior de un biodigestor para que los microorganismos puedan crecer rápidamente y así llevar a cabo el proceso bioquímico. La existencia conjunta de poblaciones microbianas y la calidad del biogás generado dependen de mantener óptimas condiciones de pH. Para que la metanogénesis tenga lugar, es esencial mantener el pH entre 6.5 y 7.5, ya que valores más bajos pueden inhibir o incluso detener la fermentación (Lizcano Pulido et al., 2021).

En un estudio realizado en la Universidad Nacional de Trujillo para que se pueda mantener el pH en 4,5 en el tiempo que duro el estudio se agregó el amortiguador citrato antes de cada proceso que luego se procedió con la medición de pH para controlar que no

se torne a un color morado lo que nos dice que es alcalino lo que provoca que se vuelva inestable (Sánchez et al., 2013).

Alejandro Padilla Investigador del Departamento de Química destaca que cada etapa del proceso de digestión implica la participación de diferentes organismos. Para que estos organismos puedan coexistir en el biodigestor, es necesario alcanzar un equilibrio entre la producción de ácidos y su regeneración. El pH en los lodos de digestión es un indicador clave de que la digestión está ocurriendo en las condiciones adecuadas, ya que, si los organismos productores de metano son inhibidos o destruidos, los ácidos producidos no se degradan, lo que lleva a una disminución progresiva del pH (Padilla Sevillano & Rivero Méndez, 2016).

1.3.3. Turbidez

La turbidez es la reducción en la claridad del agua que se produce por la existencia de partículas en suspensión. Aunque estas partículas pueden ser muy pequeñas para ser detectadas a simple vista, son lo suficientemente grandes para interactuar con la luz y disminuir la transparencia del agua. Entre las sustancias que pueden encontrarse en suspensión en el agua y provocar turbidez se encuentran el fitoplancton, la arcilla y otros materiales (Lifeder, 2020).

Como se puede ver en la tabla 11 se tiene unidades de medición para la turbidez.

Tabla 11.

Unidades de medición de Turbidez.

Unidades de turbidez	Descripción
FTU	La formacina, que es un patrón de referencia utilizado para la medición de la turbidez, se produce mediante la combinación de sulfato de hidracina (N ₂ H ₆ SO ₄) con hexametilentetramina (C ₆ H ₁₂ N ₄).

	<p>Antiguamente, la medida de turbidez del agua más utilizada era la FTU (Unidades de Turbidez Formacina), sin embargo, la ISO (Organización Internacional de Normalización) sugirió emplear la FNU (Unidades Nefelométricas de Formacina) como unidad de medición de la turbidez en el método de turbidez ISO 7027 (europeo).</p>
<p>NTU</p>	<p>La NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) es la medida más utilizada para cuantificar la turbidez del agua, especialmente en los procedimientos de análisis de esta, como el método US-EPA 180,1 o el método estándar para evaluar la calidad de las aguas corrientes y residuales. Para calibrar la unidad NTU y expresar la turbidez del agua, se recurre a la formacina, una sustancia específica para este fin.</p>
<p>JTU</p>	<p>40 JTU es aproximadamente igual a 40 NTU. Además, las unidades de turbidez comunes como NTU, FNU, FTU y FAU están todas basadas en los mismos estándares de formacina, por lo que tienen el mismo valor numérico.</p>

Nota. (Lifeder, 2020)

1.3.4. Potencial Redox

Erik Albarrán nos menciona que en una reacción redox, hay dos sustancias involucradas, una que experimenta oxidación y otra que sufre reducción. Esto conlleva a una transferencia de electrones entre ambas sustancias. Además, la reacción redox implica un intercambio de energía química que puede ser liberada o almacenada en los compuestos químicos involucrados en el proceso (Albarrán-Zavala, 2008).

El potencial Redox, también conocido como ORP, es una forma precisa de medir la energía química relacionada con el proceso de oxidación-reducción. Esto se logra a través del uso de un electrodo que convierte la energía química en energía eléctrica. Esta medida es particularmente útil para determinar la calidad del agua potable, y se expresa en milivoltios (mV), lo que nos permite conocer tanto el potencial de oxidación como el de reducción (aviNews, 2019).

Del mismo modo Erik Albarrán nos comenta que es importante mencionar que el potencial redox de una especie química específica está influenciado por las condiciones de concentración y temperatura en las que se encuentre. Si estas condiciones cambian, el valor del potencial redox también se modificará. Es por esto por lo que es necesario establecer un potencial redox en condiciones estándar, lo cual significa mantener el sistema de estudio a una temperatura de 25°C y una presión de 1 bar, y garantizar que la actividad termodinámica a_k de cada especie química sea igual a 1 ($a_k = 1$). El potencial redox estándar se conoce como E° (Albarrán-Zavala, 2008).

1.4. Recolección de datos

1.4.1. Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto que se basa en un hardware y software libres, lo que la hace altamente adaptable y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores de proyectos electrónicos. La plataforma permite la creación de

diferentes tipos de microordenadores de una sola placa que pueden ser utilizados de diversas maneras por la comunidad de creadores. Arduino ofrece esta base para que otras personas o empresas puedan crear sus propias placas con la misma funcionalidad, pero con características únicas (Fernández, 2022).

Arduino IDE

El software de desarrollo integrado de Arduino, también conocido como Arduino IDE, está compuesto por diversas herramientas que incluyen un editor de texto para la creación de código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una variedad de menús. Se conecta al hardware Arduino para cargar programas y comunicarse con ellos (© Arduino, 2023b).

Kelebogile Confidence Meje presenta el uso de Arduino IDE para el desarrollo de un prototipo de sistema integrado. Arduino IDE es un software que facilita la programación y la carga de código en placas de desarrollo que son compatibles con Arduino. Para el diseño del circuito se emplearon bibliotecas que permitieron utilizar componentes adecuados y disponibles. El autor destaca que Arduino IDE simplificó la escritura del código y la carga del programa en la placa compatible con Arduino. Asimismo, indica que antes de cargar el código se verificó que los resultados de simulación mostraran el mensaje “compilación completa” (Meje et al., 2021).

Del mismo modo Keegan M. McLean nos agrega que el software de programación de Arduino es de código abierto y se fundamenta en un lenguaje C++ simplificado, lo que lo hace una herramienta fácil de aprender y utilizar. Al emplearlo junto con el hardware adecuado, posibilita a científicos e individuos crear y controlar circuitos de diversos niveles de complejidad, de forma asequible y amigable (McLean et al., 2021).

Placa de Arduino UNO

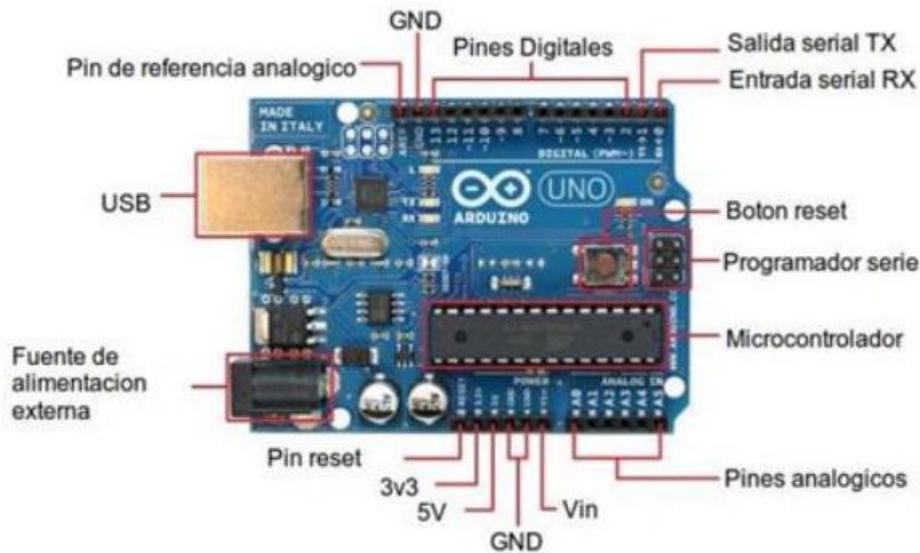
La plataforma de código abierto Arduino Uno se fundamenta en el microcontrolador ATmega328P de Atmel y permite la creación de proyectos interactivos mediante la conexión de sensores y actuadores. Debido a su sencillez de uso y a la gran cantidad de recursos en línea disponibles, es ampliamente empleada en el ámbito de la electrónica y la programación. La placa dispone de pines digitales y analógicos que se pueden utilizar para interactuar con otros dispositivos y sensores, y se puede programar con diversos lenguajes de programación, como C++ y Python. Asimismo, la placa Arduino Uno se caracteriza por su capacidad de apoyar al microcontrolador mediante la conexión a un ordenador mediante un cable USB o un adaptador (Descubre Arduino, 2023).

La placa Arduino UNO R3 se fundamenta en el microcontrolador ATmega328P de Atmel y tiene entradas y salidas que posibilitan la interacción con diversos dispositivos y componentes electrónicos, siempre que estos tengan un nivel de voltaje y corriente compatible con la placa. Cristian Vidal Silva proporciona ejemplos prácticos de la utilización de esta placa en aplicaciones de domótica, como el control de luces en el hogar. Asimismo, indica que el marco de trabajo empleado para programar la placa de Arduino UNO R3 es de código abierto, denominado Wiring, y se basa en el lenguaje de programación Processing, el cual fue desarrollado en Java y tiene una sintaxis y semántica similar a C y C++ (Vidal Silva et al., 2019).

Como se puede observar en la Figura 5 las partes detalladas que posee la placa Arduino UNO R3.

Figura 5.

Partes placa Arduino UNO R3



Nota. Reproducida de Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software de Vidal-Silva C, Lineros M, 2019, (Vidal Silva et al., 2019).

La placa de Arduino UNO R3 nos presenta unas ventajas y desventajas como se ve en la Tabla 12.

Tabla 12.

Ventajas y desventajas de Arduino UNO R3.

Ventajas	Desventajas
No es necesario contar con un nivel elevado de conocimientos para comenzar.	El microcontrolador AVR es difícil de comprender o entender.
El costo es bastante asequible, dependiendo de los shields que se necesiten.	Modificar los programas y escudos puede resultar complicado.
Existe una gran variedad de bocetos y shields disponibles para utilizar.	No se proporciona un depurador para verificar los scripts.

No se requiere el uso de un programador externo o una fuente de energía adicional.

No posees habilidades o experiencia en el uso de C o en herramientas de desarrollo profesional.

Nota. (Descubre Arduino, 2023)

1.4.2. Sensores

Los sensores son dispositivos que tienen la capacidad de registrar diferentes parámetros físicos del entorno y convertirlos en señales electrónicas. Existen dos tipos de sensores: analógicos y digitales, y cada uno tiene sus propias características y formas de comunicación. Los sensores analógicos permiten una comunicación sencilla a través de la variación de la entrada de voltaje en un pin analógico de Arduino, mientras que los sensores digitales requieren de protocolos de comunicación serial para enviar los datos y necesitan ser traducidos de una forma más compleja. Por fortuna, muchos sensores vienen con bibliotecas de software que facilitan su lectura y utilización. (© Arduino, 2023a).

Sensor de Turbidez

En su disertación acerca de los turbidímetros y los nefelómetros, W.G. Bowers explica que ambos dispositivos fueron diseñados con el propósito prácticamente idéntico de permitir determinaciones cuantitativas de ciertas sustancias al estimar la translucidez en concentraciones donde se produce o existe cierta nubosidad. Aunque algunos expertos se refieren a sus equipos como turbidímetros debido a que miden la luz dispersa lateralmente, otros prefieren llamarlos nefelómetros por medir la luz reflejada en distintos ángulos, aunque ambos fenómenos son esencialmente lo mismo (Bowers & Moyer, 1920).

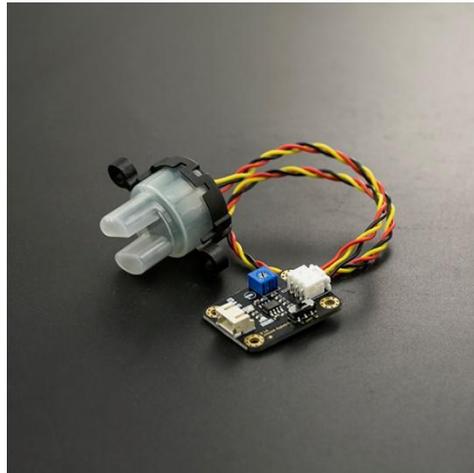
La medición de partículas en suspensión en el agua se efectúa mediante el empleo de luz, que posibilita determinar tanto la transmisión de esta como la razón de dispersión, variables que se modifican en función de la cantidad de sólidos totales suspendidos (TSS) en el agua. Al incrementarse el TSS, se incrementa también el nivel de turbidez del líquido. Los sensores de turbidez son extensamente utilizados para valorar la calidad del agua en

ríos y arroyos, efectuar mediciones en aguas residuales y efluentes, así como en la instrumentación de control de estanques de sedimentación, en la investigación del transporte de sedimentos y en mediciones de laboratorio (DFRobot, 2018).

En la Figura 6 podemos observar un sensor de turbidez compatible con Arduino.

Figura 6.

Sensor de Turbidez SKU SE051.



Nota. Reproducida de Turbidity sensor SKU SEN0189 de DFRobot, 2019, (DFRobot, 2018).

En la Tabla 13 podemos las características que posee el Sensor de Turbidez SKU SEN0189.

Tabla 13.

Características Sensor de Turbidez SKU SEN0189.

Características	Descripción
Voltaje de funcionamiento	5V CC
Corriente de funcionamiento	40 mA (máx.)
Tiempo de respuesta	<500ms
Resistencia de aislamiento	100M (Min)
Método de salida	Analógico

Salida analógica	0-4,5 V
Salida digital	señal de nivel alto/bajo
Temperatura de funcionamiento	5 °C ~ 90 °C
Temperatura de almacenamiento	-10 °C ~ 90 °C
Peso	30g
Dimensiones del adaptador	38 mm * 28 mm * 10 mm/1,5 pulgadas * 1,1 pulgadas * 0,4 pulgadas

Nota. (DFRobot, 2018).

Sensor de Luminosidad

El sensor de luminosidad, denominado también LDR por sus siglas en inglés, posee una relevancia significativa en diversas actividades dentro de los procesos industriales y se emplea también en lugares donde se demandan sus características para ofrecer servicios. En esta ocasión, nos proponemos ofrecer una descripción pormenorizada sobre este dispositivo esencial (Industrias GSL, 2022).

Jonathan Rodríguez nos presenta información acerca del módulo BH1750, el cual es un sensor de luz digital que nos proporciona mediciones en Lux (unidad estándar de iluminación) con alta precisión. Este módulo tiene un rango de medición configurable entre 1 y 65535 lx, y cuenta con un regulador interno de 3.3V, lo que permite alimentarlo con una fuente de 5V sin dificultad (Rodríguez Chiquiza, 2016).

1.5. Design Thinking como Metodología

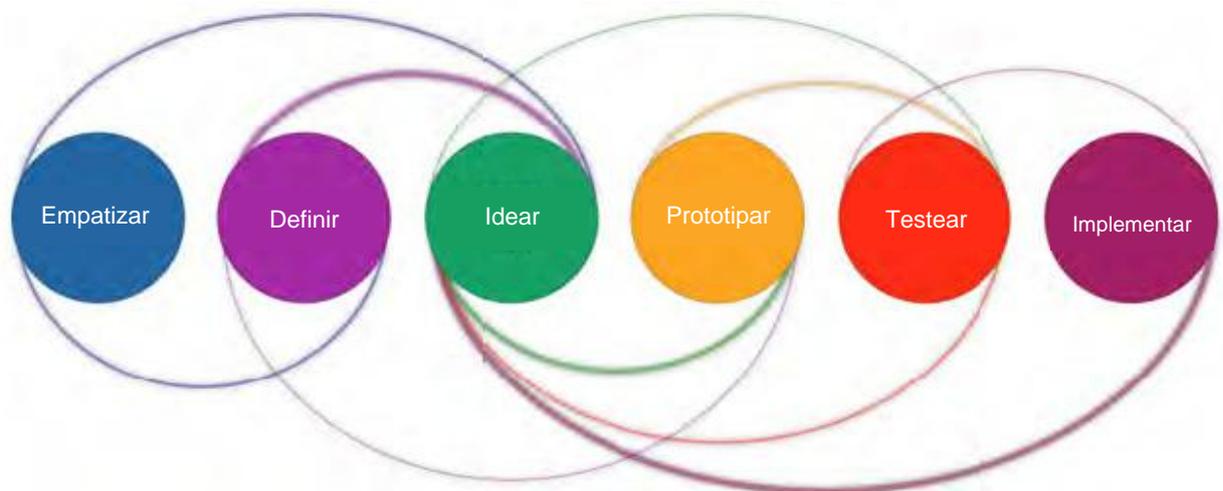
Design thinking se centra en el diseño en lugar de del diseño final uniendo la experiencia del diseño con la ciencia de integración con la ingeniería (Steinbeck, 2011). Se reúne varios equipos multidisciplinarios como:

- Empatizar: Conocer los elementos clave de los usuarios y la condición/obstáculo general.
- Definir: Conocer los elementos clave de los usuarios y la condición/obstáculo general.
- Idear: Producir la mayor cantidad de ideas.
- Prototipar: Elaborar modelos reales de algunas de las propuestas más atractivas.
- Testear: Obtener retroalimentación de los usuarios sobre los diferentes modelos.
- Implementar: Terminado el testeo se implementa como proyecto final.

En la figura 7 podemos observar las fases de Design Thinking

Figura 7.

Fases de Design Thinking.



Nota. Reproducida de Steinbeck, 2011, (Steinbeck, 2011).

1.6. Internet of Things (IoT)

IoT es un concepto que conecta el mundo digital con el mundo real mediante una arquitectura de red que permite la interacción inteligente de objetos con identidades, características físicas e individuos virtuales, usando protocolos de comunicación abiertos y

compatibles. Estos objetos pueden ser tangibles, como dispositivos electrónicos o vehículos, o inmateriales, como información o servicios. Un objeto virtual es una representación abstracta de un objeto real o de un conjunto de objetos que comparten datos e información. El objetivo de IoT es facilitar la comunicación de datos desde los objetos a internet, para mejorar la eficiencia, la seguridad y el bienestar de las personas y las organizaciones (Chaurasia & Kumar, 2023).

1.7. Herramientas para Arquitectura de Comunicación

1.7.1. Azure IoT Hub

Se utilizan datos de telemetría de mensajes enviados desde dispositivos a la nube para determinar el estado de los dispositivos y definir rutas de mensajes hacia otros servicios de Azure sin necesidad de programación. En mensajes enviados de la nube al dispositivo, se envían comandos y notificaciones de forma confiable a los dispositivos conectados y se realiza un seguimiento de la entrega de los mensajes con acuses de recibo. Se reenvían automáticamente los mensajes de los dispositivos según sea necesario para ajustarse a una conectividad intermitente (© Microsoft, 2023b)

1.7.2. Azure Stream Analytics

Se realizan análisis complejos sin necesidad de aprender nuevos marcos de procesamiento ni aprovisionar máquinas virtuales (VM) o clústeres. Se utiliza el lenguaje SQL que se conoce y que se puede ampliar con código personalizado de JavaScript y C# para casos de uso más avanzados. Se facilitan escenarios como paneles con baja latencia, streaming ETL y alertas en tiempo real gracias a la integración con un clic en las fuentes y los destinos (© Microsoft, 2023a).

1.7.3. Base de datos PostgreSQL.

La elección del gestor de base de datos ha recaído en PostgreSQL, un sistema robusto de código abierto que utiliza y amplía el lenguaje SQL con numerosas

características para almacenar y escalar de manera segura los datos más complejos.

PostgreSQL se originó en 1986 como parte del proyecto POSTGRES en la Universidad de California Berkeley y ha tenido más de 30 años de desarrollo activo en la plataforma principal (© The PostgreSQL, 2023).

PostgreSQL es un motor de bases de datos relacionales potente que se caracteriza por su fiabilidad, integridad de datos y óptimo desempeño, así como por su elevada portabilidad a los principales sistemas operativos Linux, Unix (y sus derivados) y Windows. Su código fuente está disponible bajo licencia de código abierto, lo que facilita su uso, modificación y distribución (Kasián & Reyes, 2012).

1.7.4. Microsoft Power BI

PowerBI es un conjunto de herramientas, desarrollado por Microsoft, que se emplea para obtener y analizar los datos de una empresa desde cualquier fuente de datos, generando informes y paneles de información para la empresa. Power BI facilita la conexión a diversas fuentes de datos y su simplificación, así como el compartir esta información con el resto de la empresa gracias a su adaptabilidad a distintas plataformas, que veremos más adelante. Power BI puede ser extendido por toda la empresa y no se limita a un ecosistema de Microsoft (López Hernández, 2017).

CAPÍTULO 2

Desarrollo

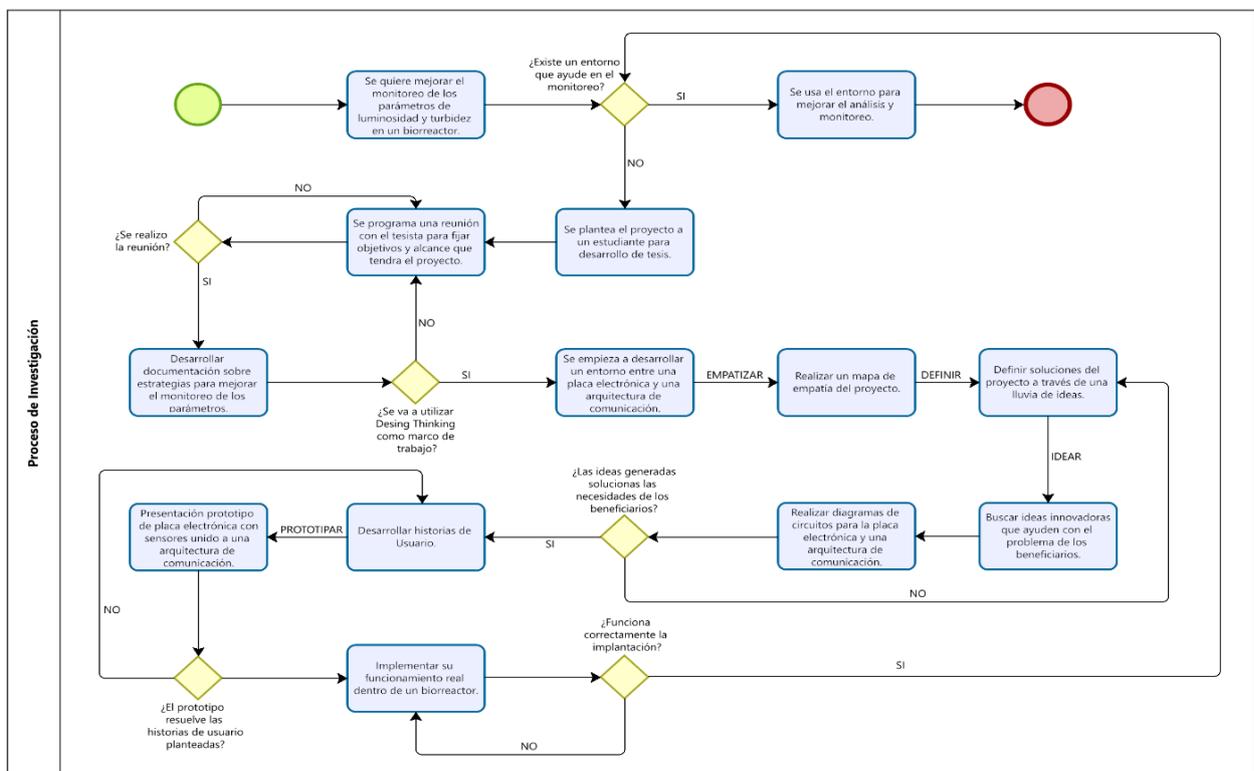
2.1. Proceso de Investigación

Para cumplir con los objetivos del proyecto de titulación se tuvo que diseñar un circuito electrónico embebido encargado de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez dentro de un biorreactor a escala de laboratorio y diseñar un centro de mensajería de datos para el análisis y la visualización de los parámetros fisicoquímicos donde se aplicó IoT Hub, Stream Analytics y Power BI como arquitectura de comunicación, aplicando Design Thinking como metodología de trabajo para el cumplimiento de los objetivos.

Para el cumplimiento y base de la planificación del diseño y la arquitectura de comunicación se realizó un mapa de procesos que se visualiza en la figura 8.

Figura 8.

Mapa de Proceso de Investigación



Nota: Se muestra el diagrama de flujo del proceso de investigación. Fuente: Propia

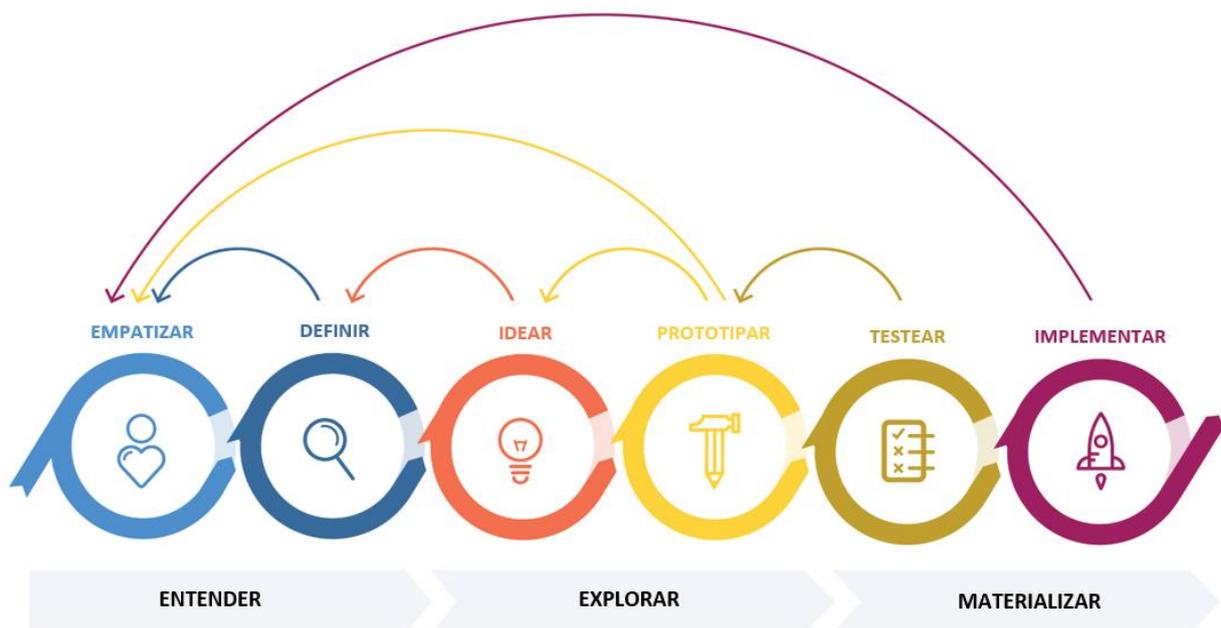
2.2. Design Thinking como marco de trabajo

El desarrollo de la placa electrónica implementando los sensores de turbidez y luminosidad y la arquitectura de comunicación se llevará a cabo usando como metodología Design Thinking, por lo que nos ofrece un proceso de adaptabilidad a la hora de desarrollar, los usuarios se los tiene de prioridad y se parte como base el implementar ideas que llegan a brindar soluciones a los problemas planteados a través de prototipos (THINK LAB, 2021).

Albay y Eisma (2021) nos dice que Design Thinking es un proceso centrado al usuario para resolver problemas utilizando procesos y habilidades que nos ayudan a facilitar la generación de soluciones de problemas prácticos a través de objetos, ideas o sistemas. Como vemos en la figura 9 el proceso que sigue Design Thinking compuesto por 5 etapas.

Figura 9.

Proceso Design Thinking.



Nota. Proceso de Design Thinking compuesta por seis etapas. Tomado de (Gibbons, 2016).

2.2.1. Empatizar

En el paso de empatizar lo que hacemos es poner en el lugar del usuario para buscando la necesidad que se tiene y poder conocer sus motivaciones, lo que siente y sus esperanzas.

2.2.2. Definir

Una vez tomados y encontrados los problemas del usuario gracias a lo que se realizó en el paso anterior, definimos las necesidades principales.

2.2.3. Idear

Realizar una lluvia de ideas para idear y resolver los requerimientos de los usuarios a través de una forma rápida e innovadora.

2.2.4. Prototipar

Teniendo una idea clara de lo que se quiere se procede a realizar un modelo que pueda ser viable, teniendo un acuerdo entre el equipo de desarrollo y el usuario.

2.2.5. Testear

Para testear es necesario involucrar al usuario para que exista un valor en las personas y garantizar el éxito de lo que se tiene planeado.

2.2.6. Implementar

Una vez que se haya realizado el testeo de lo que queremos agregar como idea procedemos a implementar

2.3. Gestión del proyecto en base a Design Thinking

2.3.1. Comprensión del Proyecto

Antes de empezar con el desarrollo del proyecto de titulación es necesario reunirse con el usuario con quien se está trabajando en el proyecto para comprender la situación, necesidad y los problemas que se va a tener en cuenta.

Figura 10.

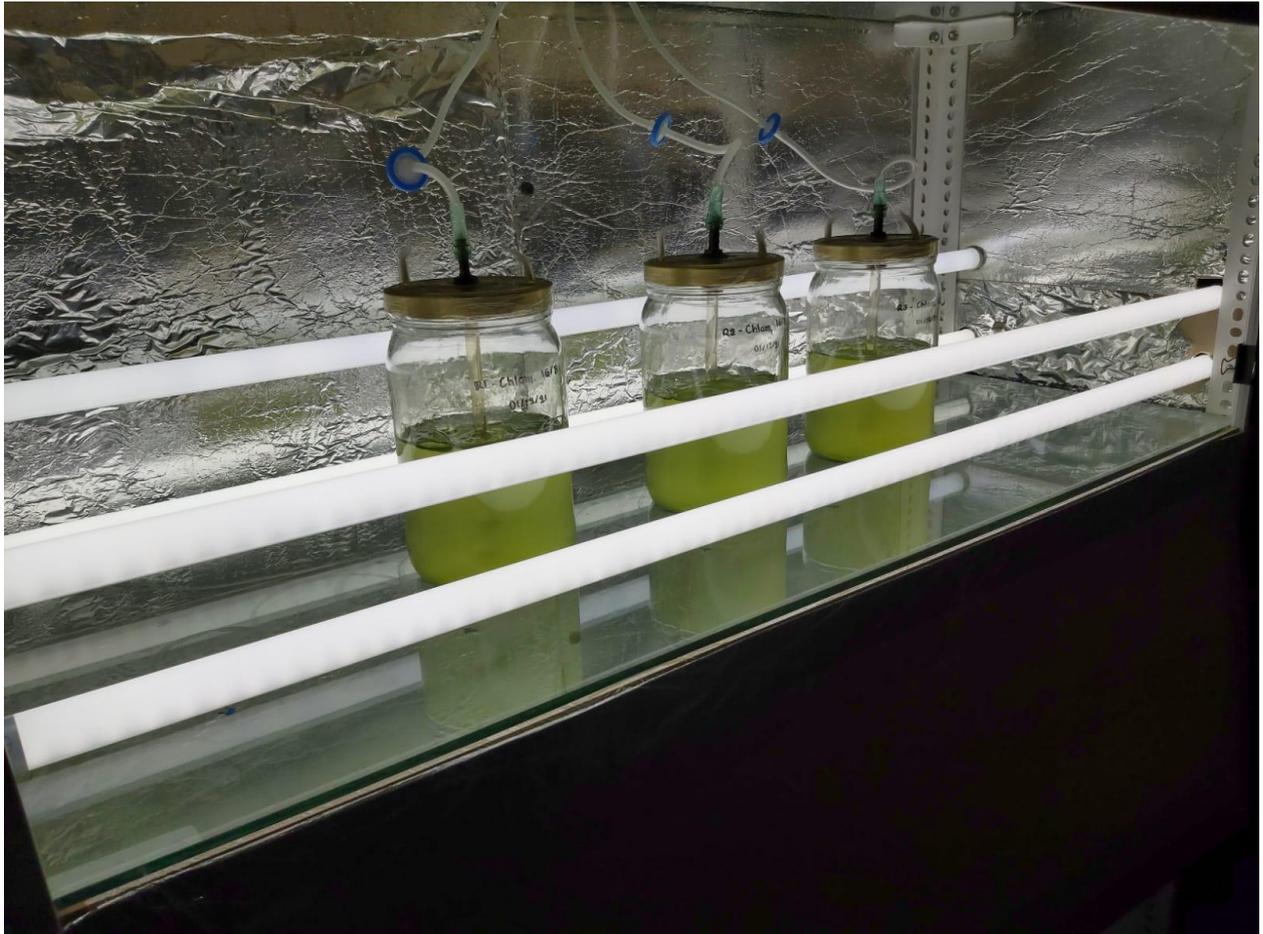
Biorreactores de la Carrera de Biotecnología.



Nota. Se muestra biorreactores de la carrera de Biotecnología. Fuente: Propia.

Figura 11.

Áreas de Implementación de Biorreactores.



Nota. Se muestra biorreactores con ingreso de luz. Fuente: Propia.

2.3.2. Empatizar

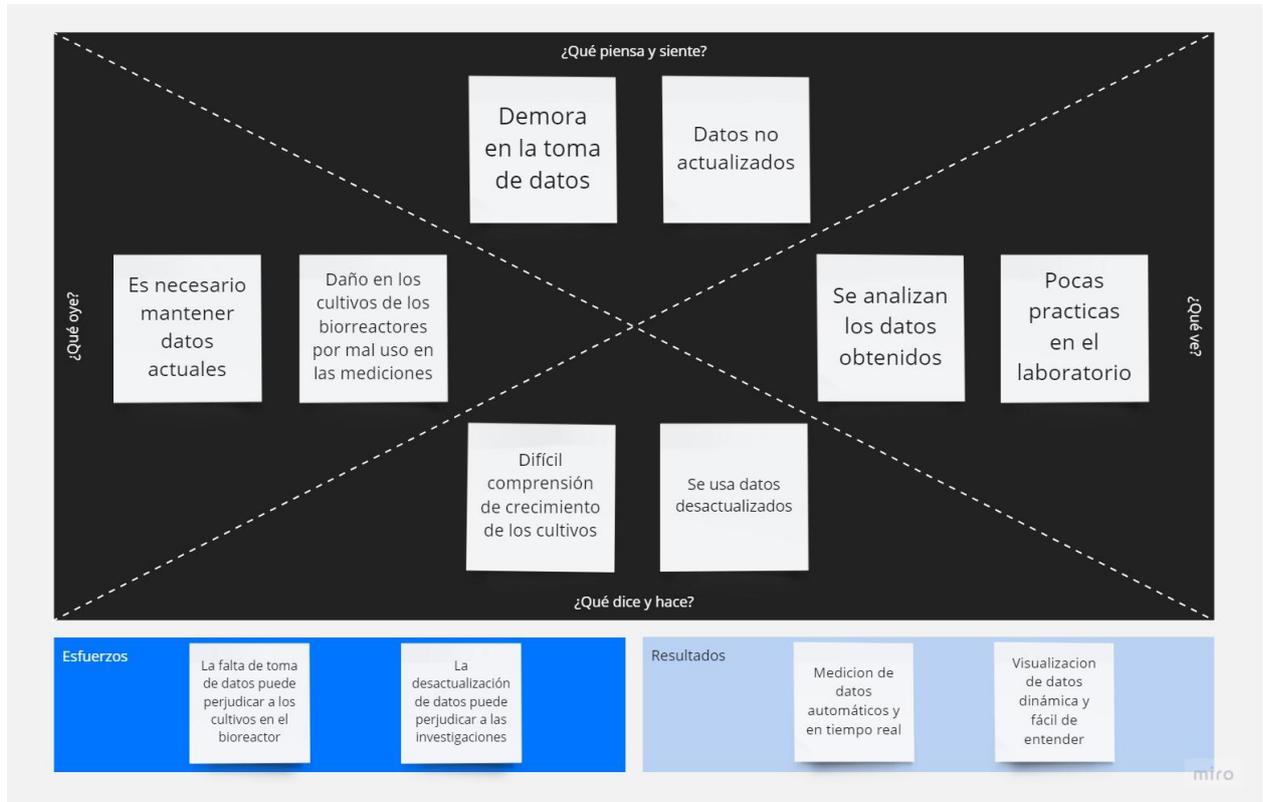
Mapa de Empatía

Tomando en cuenta las causas y los efectos del problema central que surgió en la comprensión del proyecto, realizamos el mapa de empatía desde la perspectiva del usuario y poder tener una idea clara de cómo implementar una placa electrónica dentro de un biorreactor a escala de laboratorio.

Como podemos ver en la imagen figura 12 se ha desarrollado un mapa de empatía para conocer las necesidades que se está teniendo en la toma de datos de los biorreactores a escala de laboratorio.

Figura 12.

Mapa de Empatía.



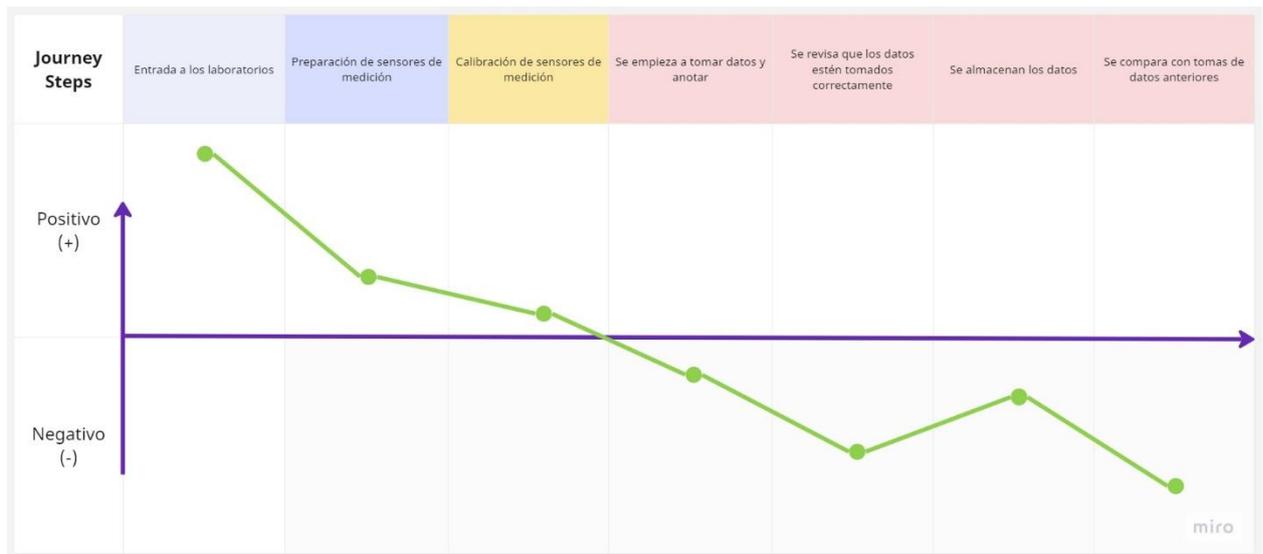
Nota. Mapa de empatía desarrollado de la toma de datos de biorreactores a escala de laboratorio. Fuente: Propia.

Journey Map

Quando ya tenemos el mapa de empatía lo que procedemos a realizar es un Journey Map para poder determinar lo que queremos corregir en el proceso de implementación y centrarnos a la hora de realizar el prototipo de la placa electrónica con la arquitectura de comunicación.

Figura 13.

Journey Map.



Nota. Journey Map de preguntas para la implementación de nuestra arquitectura.

Fuente: Propia

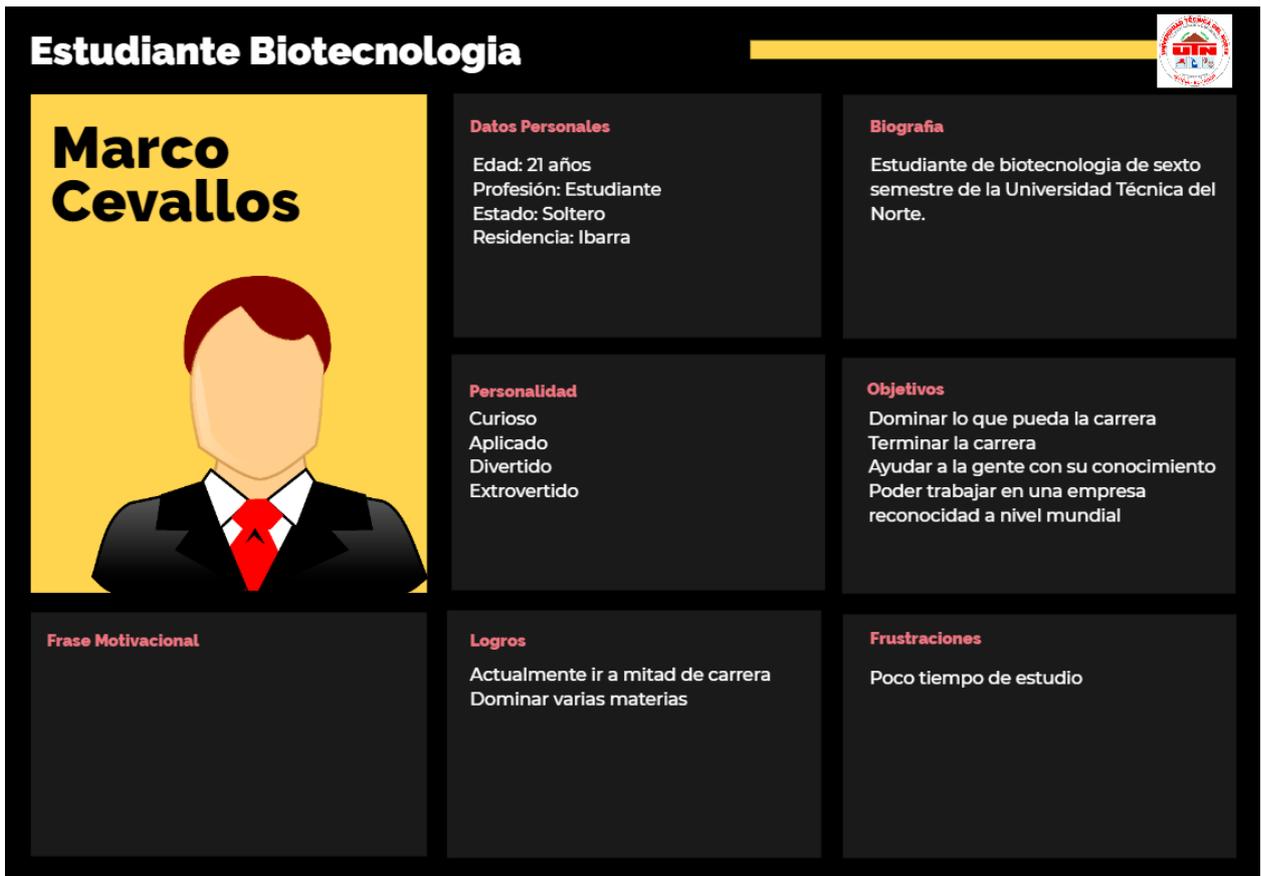
2.3.3. Definir

Perfil de Usuario

El perfil de usuario nos ayuda a definir y comprender las necesidades que va a tener los usuarios, recopilaremos la información de un estudiante prueba para comprender sus motivaciones, logros y frustraciones para poder diseñar una solución efectiva acorde a la información recolectada como vemos en la figura 14.

Figura 14.

Arquetipo de Usuario.



Nota. Perfil de usuario de estudiante de la carrera de biotecnología de la Universidad Técnica del Norte. Fuente: Propia.

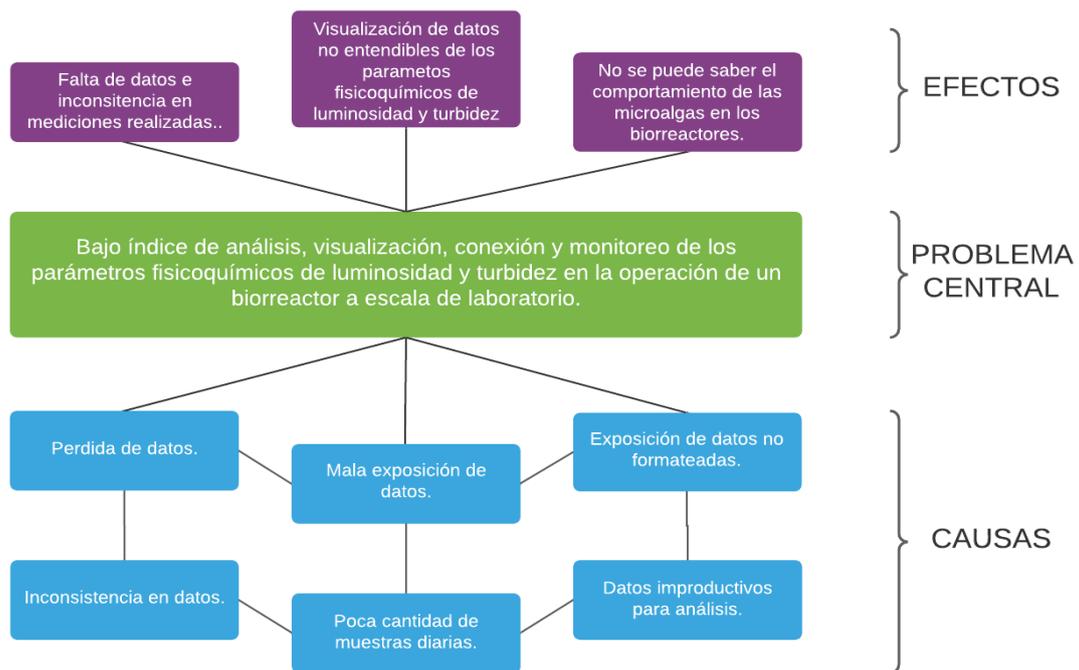
Árbol de Problemas

Para que podamos realizar un mapa de empatía es necesario realizar un árbol de problemas para definir y ubicar el contexto al problema del usuario.

Como podemos ver en la figura 15 se ha desarrollado un árbol de problemas con el funcionamiento actual de las mediciones de datos del biorreactor.

Figura 15.

Árbol de problemas.



Nota. Árbol de problemas del funcionamiento actual de los biorreactores. Fuente: Propia.

2.3.4. Idear

Lluvia de Ideas

Para empezar con el desarrollo de la metodología es necesario contar con una lluvia de ideas para obtener posibles alternativas ante los problemas que han surgido en los pasos anteriores.

Se ha desarrollado una lluvia de ideas con posibles soluciones para el problema que existe en la toma de datos como podemos ver en la figura 16.

Figura 16.

Lluvia de Ideas.



Nota. Lluvia de ideas de alternativas de solución del problema. Fuente: Propia.

2.3.5. Prototipar

Prototipos

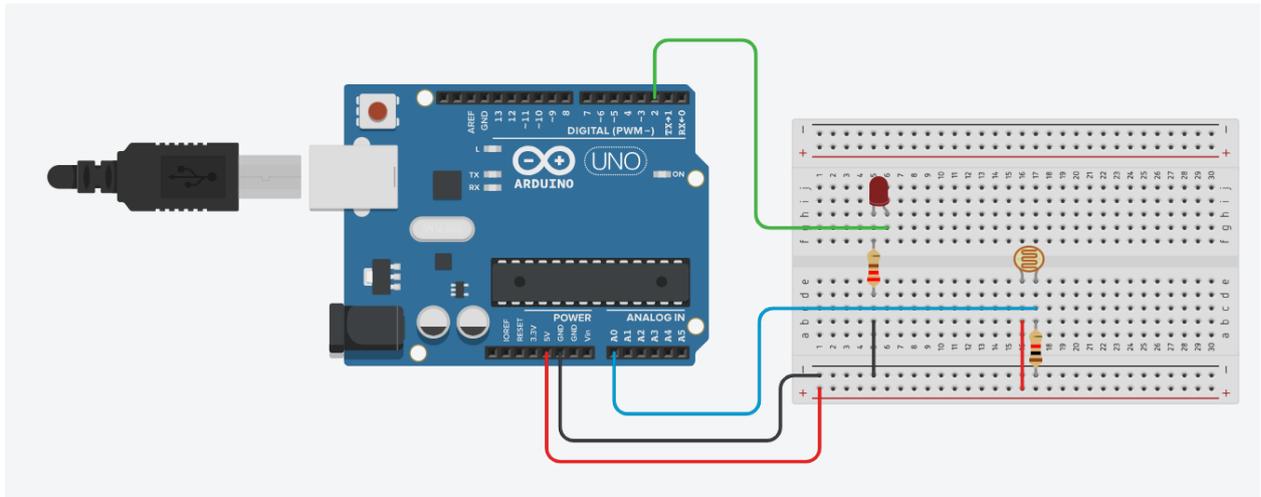
Una vez que tengamos claros el problema que se quiere resolver empezamos a desarrollar prototipos, en el cual se detalla un diseño a tomar en cuenta para el proyecto, pero de una fidelidad baja.

Pruebas sensor luminosidad V.1

Se llevan a cabo pruebas iniciales con el sensor de luminosidad para verificar su correcto funcionamiento antes de integrarlo en un sistema con múltiples sensores. Para ello, se ha desarrollado un prototipo que mide la cantidad de luz captada y ajusta la intensidad de un LED en función de dicha medición como vemos en la Figura 17.

Figura 17.

Sensor de luminosidad.



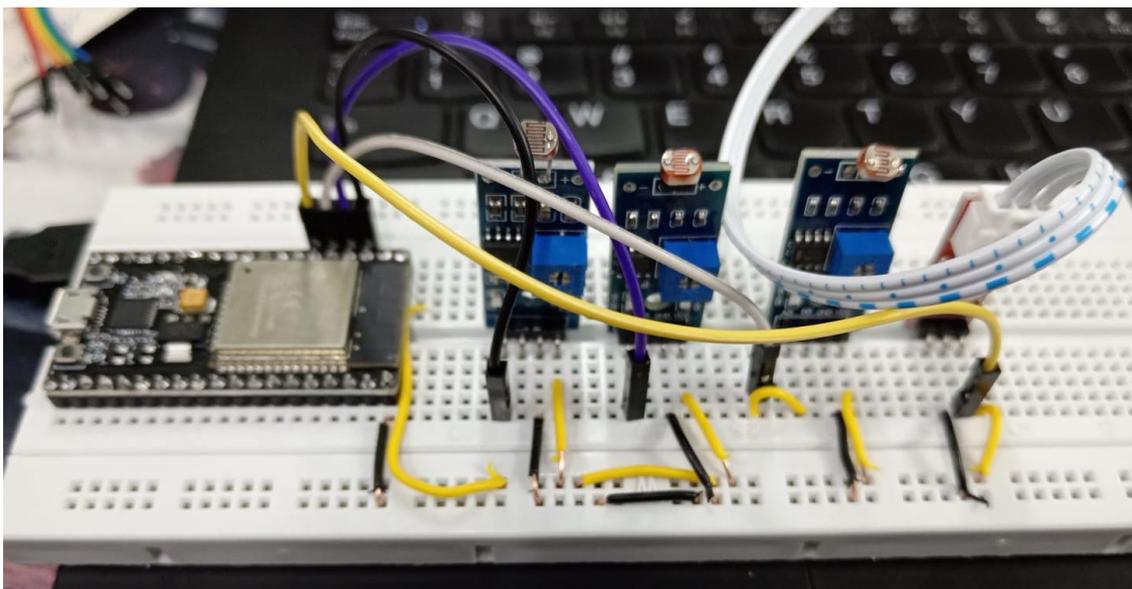
Nota. Prototipo de sensor de luminosidad conectado a placa de Arduino. Fuente: Propia.

Circuito Electrónico Prototipo V.2

Dado que era necesario conectar tres sensores de luminosidad y uno de turbidez para realizar las mediciones, se decidió optar por una placa **ESP32**. Esta elección permite conectar los cuatro sensores simultáneamente y gestionar las mediciones para su posterior almacenamiento en la base de datos como vemos en la figura 18.

Figura 18.

Circuito electrónico V.2.



Nota. Sensores de luminosidad y turbidez conectados a placa Esp 32. Fuente: Propia.

Como vemos en la Figura 18 se realiza la conexión de los sensores de luminosidad y el sensor de turbidez en la Placa ESP32 la que nos ayudara en la conexión de internet y el enviar los datos en tiempo real a una base de datos.

Una vez realizadas las mediciones con la placa diseñada, se establece la comunicación con la base de datos donde se almacenan los datos en tiempo real. Posteriormente, estas mediciones se utilizan para su visualización y análisis en Power BI.

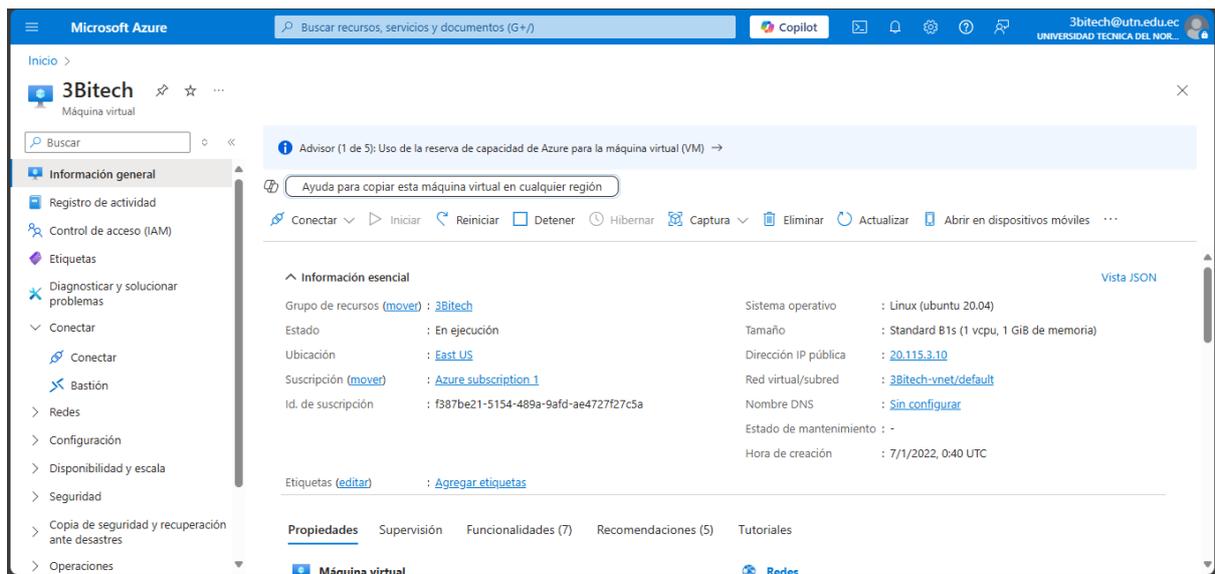
Creación de Máquina Virtual

Se creo una máquina virtual dentro de los recursos que nos ofrece la plataforma de Microsoft Azure, los parámetros que se escogió fueron básicos para que el coste de mantenimiento no sea muy alta. La máquina virtual se creó un sistema operativo de Linux que nos permite una fácil operabilidad para la creación de bases de datos como podemos tener PostgreSQL, MySQL, MariaDB y entre otras.

Como podemos ver en la Figura 19, la creación de la máquina virtual dentro de Azure.

Figura 19.

Máquina Virtual en Azure.

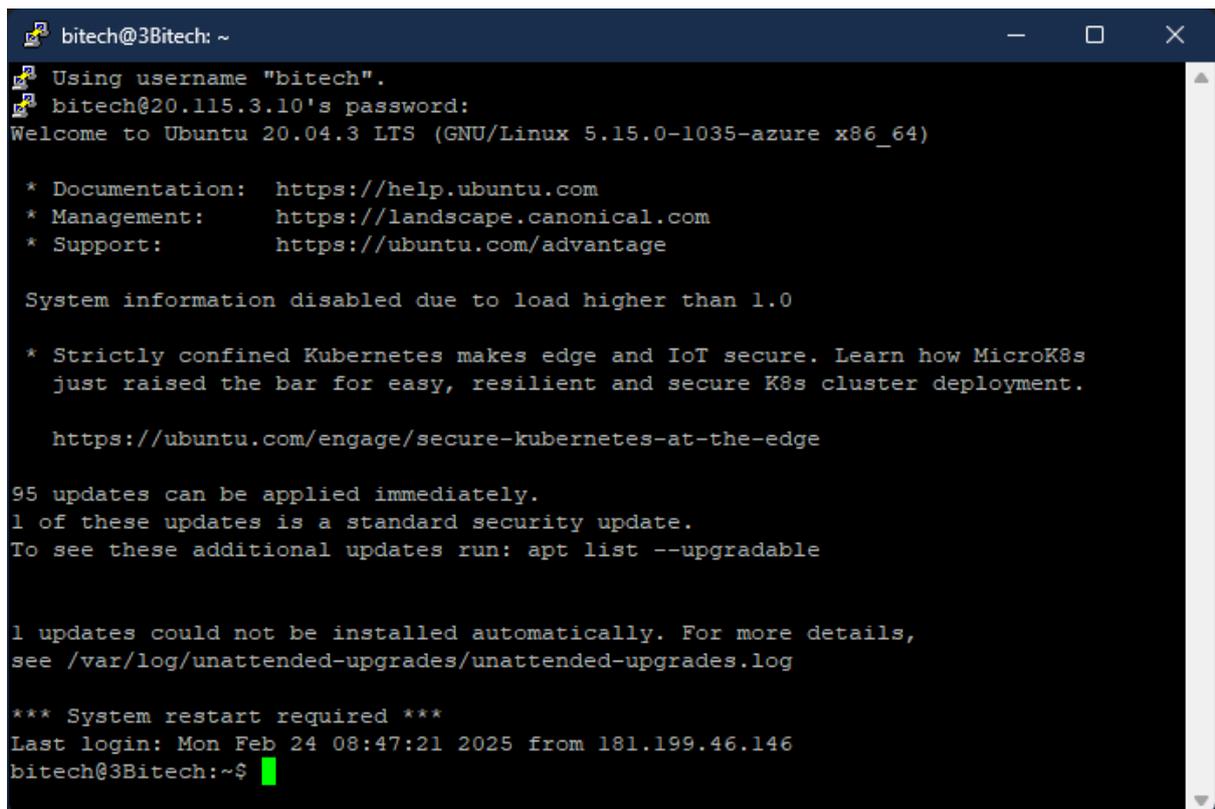


Nota. Máquina virtual configurada en Microsoft Azure. Fuente: Propia.

Una vez que hemos creado la máquina virtual para poder conectarnos a través de SSH para la configuración tenemos que crear una IP pública, en este caso se creó la IP que nos brindó Azure 20.115.3.10, a través de esta conexión nos podemos conectar mediante diferentes aplicaciones como puede ser PUTTY como vemos en la Figura 20.

Figura 20.

Conexión a la Máquina Virtual.

A terminal window titled 'bitech@3Bitech: ~' showing the login process for a user named 'bitech' on an Ubuntu 20.04.3 LTS system. The terminal output includes the username prompt, password prompt, and a welcome message. It also displays system information, links for documentation, management, and support, and a notification about updates. The terminal ends with the prompt 'bitech@3Bitech:~\$' and a green cursor.

```
bitech@3Bitech: ~
Using username "bitech".
bitech@20.115.3.10's password:
Welcome to Ubuntu 20.04.3 LTS (GNU/Linux 5.15.0-1035-azure x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

System information disabled due to load higher than 1.0

 * Strictly confined Kubernetes makes edge and IoT secure. Learn how MicroK8s
  just raised the bar for easy, resilient and secure K8s cluster deployment.

  https://ubuntu.com/engage/secure-kubernetes-at-the-edge

95 updates can be applied immediately.
1 of these updates is a standard security update.
To see these additional updates run: apt list --upgradable

1 updates could not be installed automatically. For more details,
see /var/log/unattended-upgrades/unattended-upgrades.log

*** System restart required ***
Last login: Mon Feb 24 08:47:21 2025 from 181.199.46.146
bitech@3Bitech:~$
```

Nota. Conexión a la máquina virtual mediante SSH. Fuente: Propia.

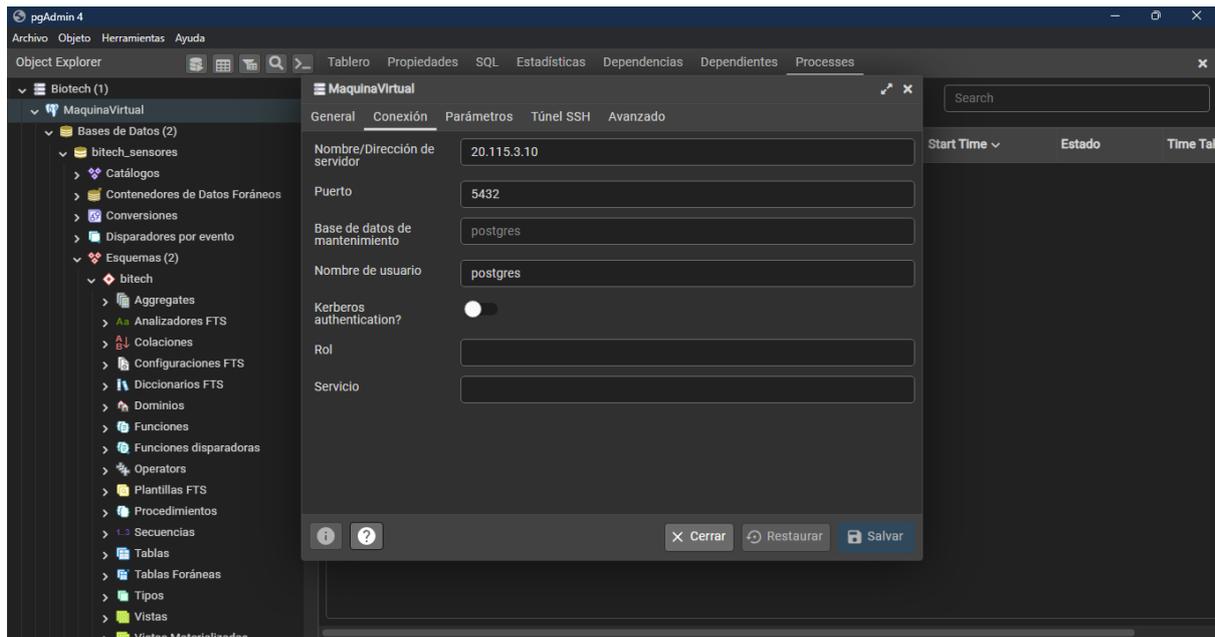
Diseño de base de datos

Una vez que nos podemos conectar a la base de datos se tomó la decisión de usar PostgreSQL como almacenamiento de datos, para ello instalamos PostgreSQL dentro de la máquina virtual y configuramos un usuario, en este caso usaremos el usuario postgres para el manejo y creación de la base de datos, esquemas y tablas.

Una vez creado nos podemos conectar a la base de datos desde nuestra computadora local donde debemos tener previamente instalado PostgreSQL, creamos la conexión dentro de pgAdmin para que nos resulte más fácil el manejo de tablas como vemos en la Figura 21.

Figura 21.

Conexión a la Base de datos.



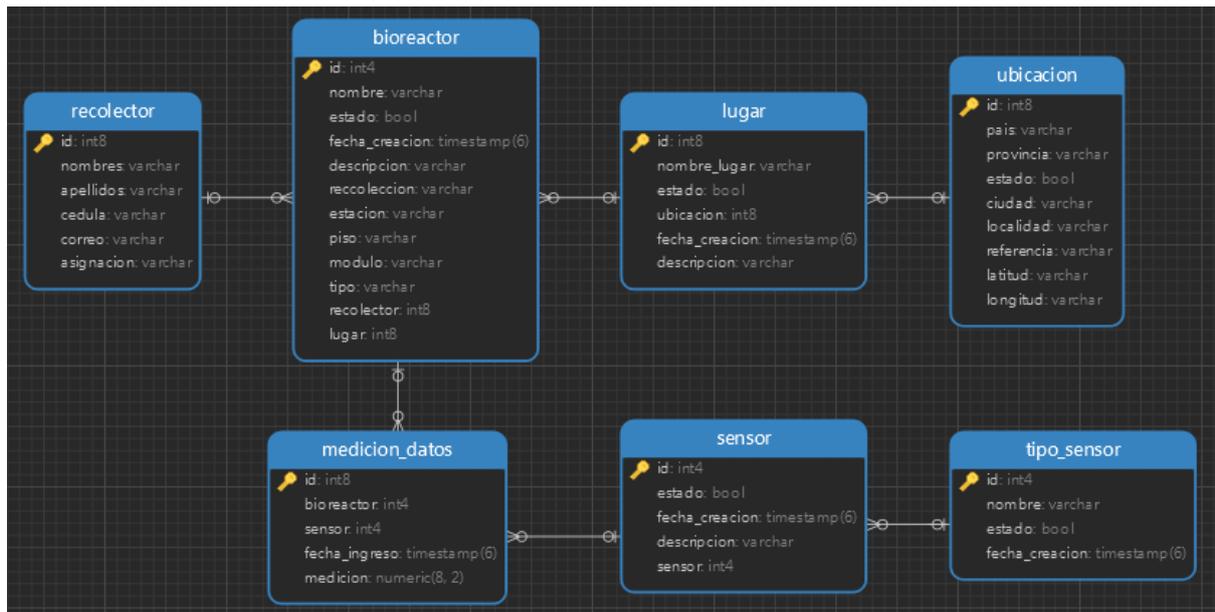
Nota. Conexión a la base de datos de la máquina virtual mediante pgAdmin. Fuente: Propia.

Para ello creamos un nuevo recurso y seguimos los pasos, una vez creado los recursos nos da la conexión con la base de datos que se ha creado, nos podemos conectar desde cualquier gesto de Base de datos para su respectiva creación de tablas.

Para la creación de las tablas que se van a usar en la medición de los parámetros fisicoquímicos se tomó en cuenta para una mayor flexibilidad creado una tabla para los diferentes tipos de sensores que se pudiera agregar al biorreactor y del mismo modo dar a conocer los diferentes datos que puede tener un biorreactor, desde la persona encargada de realizar las mediciones y de donde fue tomada la muestra del biorreactor como vemos en la Figura 22.

Figura 22.

Diagrama de Base de datos en PostgreSQL.



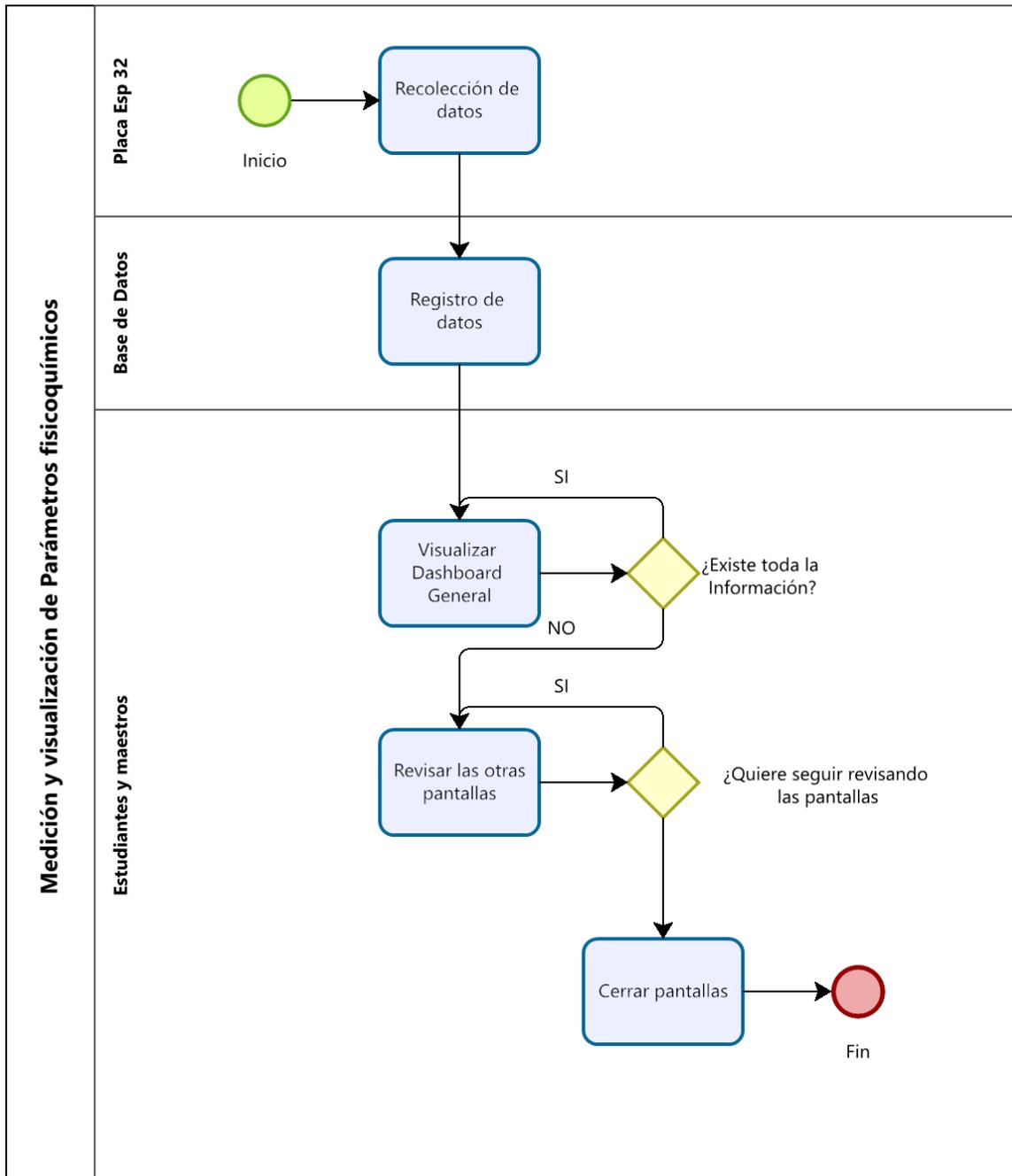
Nota. Diagrama de base de datos para manejo de datos. Fuente: Propia.

Mapa de Procesos

Una vez que se tiene claro las pantallas y la interacción que va a tener el usuario para su uso por lo cual es necesario definir un seguimiento de cómo se realiza el proceso de medición de los parámetros fisicoquímicos manualmente y de esta manera comprender en que se verá beneficiado en la toma de mediciones el usuario como vemos en la Figura 23.

Figura 23.

Diagrama de procesos de medición.



Nota. Diagrama de procesos de medición y visualización de parámetros fisicoquímicos. Fuente: Propia.

Historias de Usuario

Método de Estimación

Para la estimación de las historias de usuario se usará la técnica de estimación por tallas o T-Shirt. Como nos indica (Garzón et al., 2014) que en el desarrollo de las funcionalidades dentro de las historias de usuario usando una escala de va desde extrapequeña (extra small) hasta extragrande (extra large).

Tomando en cuenta que el rango va desde XS hasta XL la estimación se la va a tomar en horas, que va desde las 0 horas hasta las 50 por historia de usuario. En la tabla 14 se desarrolló el rango de estimación que va a tener cada talla de camiseta en horas.

Tabla 14.

Tabla de estimación de modelo T-Shirt en horas

Tamaño	Rango de estimación en Horas
XS	1 – 10 horas
S	11 – 20 horas
M	21 – 30 horas
L	31 – 40 horas
XL	41 – 50 horas

Nota. Se observa el rango de estimación en horas del modelo T-Shirt.

Prioridad

Para tener clara la prioridad de las Historias de Usuario es necesario contar con la opinión de usuario y que puede llegar a ser más importante para él, para ello se plantea usar un rango que va desde muy baja siendo 1 hasta muy alta siendo 5.

Lista de Historias de Usuario

A continuación, en la tabla 15 se observa la lista de las historias de usuario que se han planteado junto a su estimación y prioridad tomando en cuenta la opinión del usuario.

Tabla 15.*Lista de Historias de Usuario*

ID	Titulo	Prioridad	Estimación
HU-001	Levantamiento de requisitos.	5	XS
HU-002	Desarrollo de una base en una placa electrónica	4	S
HU-003	Implementación de un sensor de luminosidad	4	M
HU-004	Toma de datos de luminosidad sean correctos	3	S
HU-005	Implementación de un sensor de turbidez	4	M
HU-006	Toma de datos de turbidez sean correctos	3	S
HU-007	Creación de una arquitectura de comunicación	5	M
HU-008	Desarrollo de una base de datos de almacenamiento	3	XS
HU-009	Conexión con la nube	4	S
HU-010	Análisis de datos	3	S
HU-011	Conexión de la placa electrónica y la arquitectura de comunicación	5	M
HU-012	Integración de datos en la base de datos	3	S
HU-013	Limpieza de datos alojados en la base de datos	3	XS

HU-014	Desarrollo de Mockups para Dashboard	4	S
HU-015	Implementación de Dashboard	3	M
HU-016	Muestra de parámetros en tiempo real	5	S

Nota. Historias de usuarios con la prioridad que va a tener y su estimación.

Detalle de Historias de Usuario

Una vez definidas las historias de usuario, su prioridad y el esfuerzo estima que nos va a tomar realizar cada una de ellas procedemos a detallar y agregar los criterios de aceptación para cada una de ellas como podemos ver en las siguientes figuras.

Figura 24.

Historia de Usuario 1.

Historia de Usuario	
Código: HU-001	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Levantamiento de Requisitos.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, se requiere realizar el levantamiento de requisitos para poder saber que se requiere del proyecto y poder aplicarlo a lo largo de desarrollo.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos anotados y analizados para su implementación. • Medir el esfuerzo y la prioridad que se requiera para que puedan ser cumplidos. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 1. Fuente: Propia

Figura 25.

Historia de Usuario 2.

Historia de Usuario	
Código: HU-002	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Desarrollo de una base en una placa electrónica.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, se requiere diseñar y desarrollar una base en una placa electrónica para poder implementar sensores de medición.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Entrega de la placa electrónica funcional y lista para futuras implementaciones.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 2. Fuente: Propia

Figura 26.

Historia de Usuario 3.

Historia de Usuario	
Código: HU-003	Dependencia: HU-002
Nombre de Historia: Implementación de un sensor de luminosidad.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero implementar un sensor de luminosidad para poder medir la cantidad de luz que hay en el biorreactor a escala de laboratorio.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Implementación y funcionamiento del sensor de luminosidad en la toma de medidas dentro del biorreactor.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 3. Fuente: Propia

Figura 27.

Historia de Usuario 4.

Historia de Usuario	
Código: HU-004	Dependencia: HU-003
Nombre de Historia: Toma de datos de luminosidad sean correctos	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero verificar que la toma de datos de luminosidad sea correcta para que exista un funcionamiento correcto dentro del biorreactor.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Verificar si la toma de datos es correcta comparando con una toma a mano y otra con el sensor.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 4. Fuente: Propia

Figura 28.

Historia de Usuario 5.

Historia de Usuario	
Código: HU-005	Dependencia: HU-002
Nombre de Historia: Implementación de un sensor de turbidez.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero implementar un sensor de turbidez para poder medir que tan turbia se encuentra el agua dentro del biorreactor a escala de laboratorio.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Implementación y funcionamiento del sensor de turbidez en la toma de medidas dentro del biorreactor.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 5. Fuente: Propia

Figura 29.

Historia de Usuario 6.

Historia de Usuario	
Código: HU-006	Dependencia: HU-005
Nombre de Historia: Toma de datos de turbidez sean correctos.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero verificar que la toma de datos de turbidez sea correcta para que exista un funcionamiento correcto dentro del biorreactor.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Verificar si la toma de datos sea correcta comparando con una toma a mano y otra con el sensor.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 6. Fuente: Propia

Figura 30.

Historia de Usuario 7.

Historia de Usuario	
Código: HU-007	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Creación de una arquitectura de comunicación.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero crear una arquitectura de comunicación para manejar la arquitectura dentro él envío de los datos obtenidos a almacenar.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Desarrollo de la arquitectura que se va a aplicar para la comunicación de la placa electrónica y el almacenamiento de datos.	

--

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 7. Fuente: Propia

Figura 31.

Historia de Usuario 8.

Historia de Usuario	
Código: HU-008	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Desarrollo de una base de datos de almacenamiento.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero desarrollar una base de datos para almacenar la toma de datos que miden los sensores en los biorreactores a escala de laboratorio.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y creación de la base de datos en PostgreSQL. • Definición de las tablas, campos y establecer su relación. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 8. Fuente: Propia

Figura 32.

Historia de Usuario 9.

Historia de Usuario	
Código: HU-009	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Conexión con la nube.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero implementar la conexión con la nube, para que los datos sean subidos y almacenados.	
Criterios de aceptación:	

- Implementación de Azure IoT Hub para el almacenamiento en la nube.
- Verificar su funcionamiento.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 9. Fuente: Propia

Figura 33.

Historia de Usuario 10.

Historia de Usuario	
Código: HU-010	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Análisis de datos.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero analizar los datos almacenados en la nube, para verificar que sean correctos, tengan un orden y sean acordes a la base de datos creada.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de Azure Stream Analytics para analizar los datos almacenados en la nube. • Datos acordes a la base de datos que se ha creado. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 10. Fuente: Propia

Figura 34.

Historia de Usuario 11.

Historia de Usuario	
Código: HU-011	Dependencia: HU-002 y HU-007
Nombre de Historia: Conexión de la placa electrónica y la arquitectura de comunicación.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS

Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero conectar la placa electrónica con la arquitectura de comunicación, para que los datos obtenidos en tiempo real se verifiquen que son correctos y cumplen un orden para ser almacenados.

Criterios de aceptación:

- Conexión con la placa y la arquitectura de comunicación.
- Verificación que los datos obtenidos sean correctos.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 11. Fuente: Propia

Figura 35.

Historia de Usuario 12.

Historia de Usuario	
Código: HU-012	Dependencia: HU-008
Nombre de Historia: Integración de datos en la base de datos.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero que los datos obtenidos sean almacenados en una base de datos para que puedan ser guardados y comparados con otros datos que se hayan guardado.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Los datos almacenados en la base de datos están ordenados adecuadamente.• Se pueda revisar datos anteriores a los tomados últimos.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 12. Fuente: Propia

Figura 36.

Historia de Usuario 13.

Historia de Usuario	
Código: HU-013	Dependencia: HU-012

Nombre de Historia: Limpieza de datos alojados en la base de datos.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero realizar la curación de los datos que se han almacenado, para que no exista confusión cuando se quiera realizar una revisión del funcionamiento.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Datos curados y fácil de entender. • Cumplen un orden y no existen datos, columnas ni tablas vacías. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 13. Fuente: Propia

Figura 37.

Historia de Usuario 14.

Historia de Usuario	
Código: HU-014	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Desarrollo de Mockups para Dashboard.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero realizar los Mockups de los Dashboard para la visualización de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del biorreactor a escala de laboratorio.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Visualización dinámica y entendible para las personas que tomaran medidas. • Mockups que puedan ser aplicadas en Microsoft Power BI. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 14. Fuente: Propia

Figura 38.

Historia de Usuario 15.

Historia de Usuario	
Código: HU-015	Dependencia: HU-014
Nombre de Historia: Implementación de Dashboard.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como equipo de desarrollo, requiero aplicar los Mockups creados de los Dashboard para visualizar los datos reales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del biorreactor a escala de laboratorio.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Los Mockups creados puedan ser aplicados en Power BI. • Se muestre los datos que están almacenados en las bases de datos. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 15. Fuente: Propia

Figura 39.

Historia de Usuario 16.

Historia de Usuario	
Código: HU-016	Dependencia: HU-011
Nombre de Historia: Muestra de parámetros en tiempo real.	
Prioridad: 5	Esfuerzo: XS
Descripción: Como usuario, requiero visualizar los datos en tiempo real para analizar el funcionamiento del biorreactor y su interacción en el cultivo de microalgas.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Los datos que se están tomando en tiempo real del biorreactor se muestre en los Dashboard. • Los datos que se están mostrando sean correctos. • No exista fallos a la hora de mostrar los datos. 	

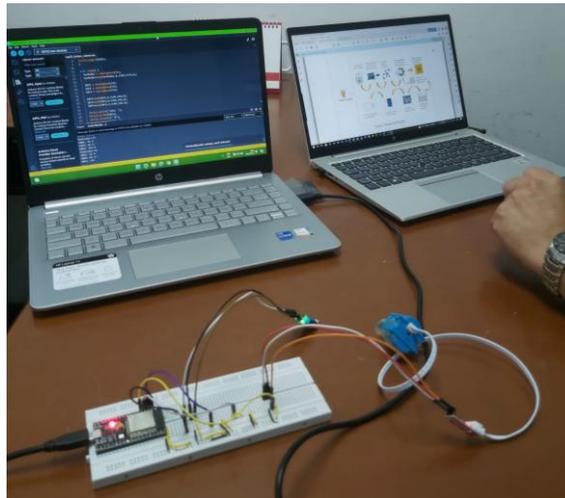
Nota. Detalle de la Historia de Usuario 16. Fuente: Propia

2.3.6. Testear

Para empezar con el testeo se desarrolló una maqueta en donde se va a almacenar el biorreactor para comenzar con el testeo de las mediciones, primeramente, lo que se desarrollo fue que los datos que se están midiendo se muestran por consola como podemos ver en la figura 40.

Figura 40.

Visualización de datos del en consola.



Nota. Visualización de los datos medidos en la consola durante el testeo inicial.

Fuente: Propia

A partir de eso se empezó a hacer pruebas de cómo se iba a realizar las mediciones ancladas al biorreactor de momento siendo monitoreado por consola para ello se ha realizado el código en Arduino IDE el cual solo nos media los datos en tiempo real pero no se almacenan como vemos en la Figura 40 y en la Figura 41 y Figura 42.

Figura 41.

Visualización de datos en consola del biorreactor.



Nota. Visualización de los datos medidos en la consola durante el testeo dentro del biorreactor. Fuente: Propia

Figura 42.

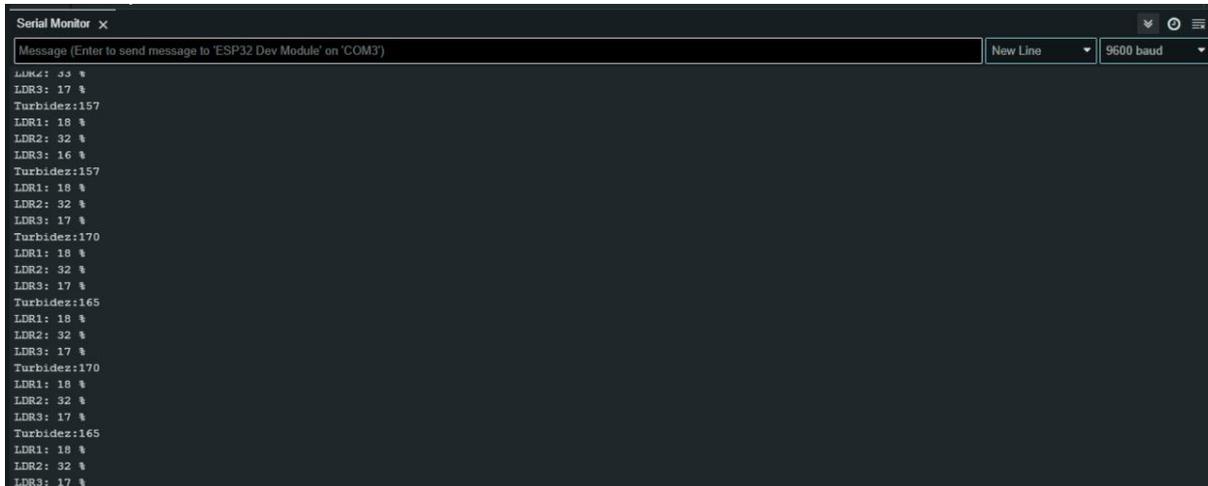
Visualización de sensor de turbidez.



Nota. Visualización sensor de turbidez dentro del biorreactor. Fuente: Propia

Figura 43.

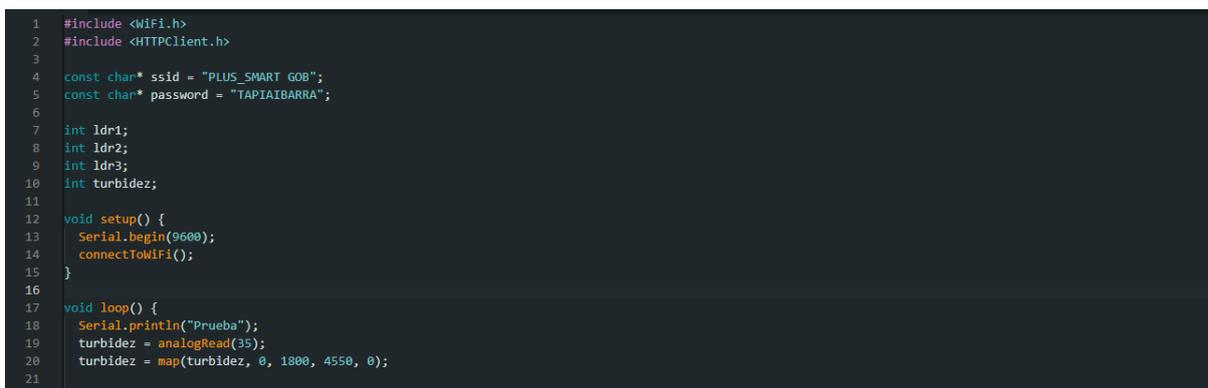
Datos de obtenidos con los sensores.



Ya con datos de prueba y verificando que se está obteniendo resultados deseados se empezó a desarrollar en el IDE de Arduino que los datos que se están obteniendo se almacenen en la base de datos que se ha desarrollado, para ello se importan las librerías que nos serán útiles para la conexión al Wifi y desarrollamos el código como vemos en la Figura 44, aquí nosotros configuramos los datos de la conexión al Wifi.

Figura 44.

Configuración de Wifi.

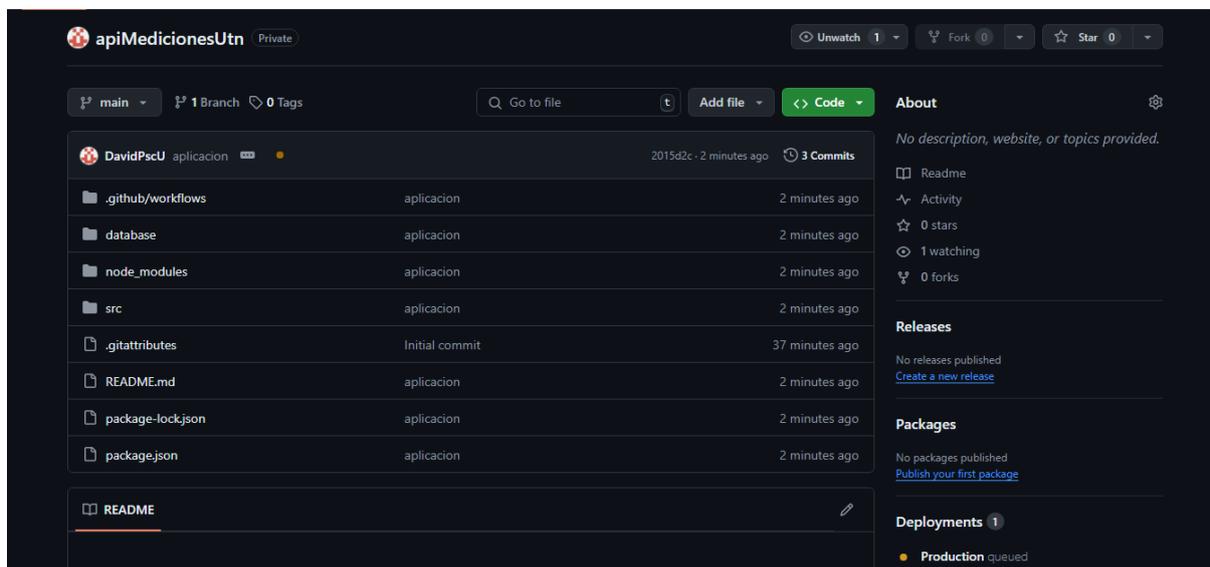


Nota. Configuración de Wifi dentro del código de la placa Esp 32. Fuente: Propia

Una vez que se establece la conexión al wifi se desarrolla una API de pruebas para poder almacenar los datos obtenidos en la base de datos, para ello se desarrolló una API usando Node Js, la misma que se va a publicar dentro de la máquina virtual que hemos configurado anteriormente para lo cual nuestro desarrollo de la API lo debemos subir a un repositorio para este caso se va usar GitHub para el manejo del proyecto y código fuente del proyecto, como vemos en la Figura 45 se desarrolló el código y se lo publico en GitHub.

Figura 45.

Publicación de API en GitHub.



Nota. Publicación de una API desarrollada en Node JS en Git Hub. Fuente: Propia

Ya con la API desarrollada y publicada en Git Hub, en nuestra máquina virtual instalamos Git que nos servirá para poder clonar el proyecto, una vez que hayamos instalado Git procederíamos a instalar Node JS para la ejecución de la API, una vez que probamos que la API la podemos iniciar, agregamos la librería de PM2 que nos ayuda a que nuestra API se mantenga corriendo en segundo plano.

Una vez realizada estas configuraciones podremos consumir la API modificando el código de Arduino que se estaba desplegando, para que esto funcione se creó que los

datos que se están tomando se almacenen en un Json y eso es lo que se va a mandar a la API para que se guarden los datos como vemos en la figura 46.

Figura 46.

Configuración de Json de la placa.

```
19 Serial.println("Prueba");
20 turbidez = analogRead(35);
21 turbidez = map(turbidez, 0, 1800, 4550, 0);
22
23 ldr1 = analogRead(36);
24 ldr2 = analogRead(39);
25 ldr3 = analogRead(34);
26
27 ldr1 = map(ldr1, 0, 4100, 100, 0);
28 ldr2 = map(ldr2, 0, 4100, 100, 0);
29 ldr3 = map(ldr3, 0, 4100, 100, 0);
30
31 // Crear el JSON
32 String json = "[";
33 json += "{\"bioreactor\": \"1\", \"sensor\": \"2\", \"medicion\": \"\" + String(ldr1) + "\",\"";
34 json += "{\"bioreactor\": \"1\", \"sensor\": \"3\", \"medicion\": \"\" + String(ldr2) + "\",\"";
35 json += "{\"bioreactor\": \"1\", \"sensor\": \"4\", \"medicion\": \"\" + String(ldr3) + "\",\"";
36 json += "{\"bioreactor\": \"1\", \"sensor\": \"1\", \"medicion\": \"\" + String(turbidez) + "\",\"";
37 json += "]";
38
39 Serial.println(json);
40
41 // Enviar la solicitud HTTP
42 sendPostRequest(apiUrl, json);
```

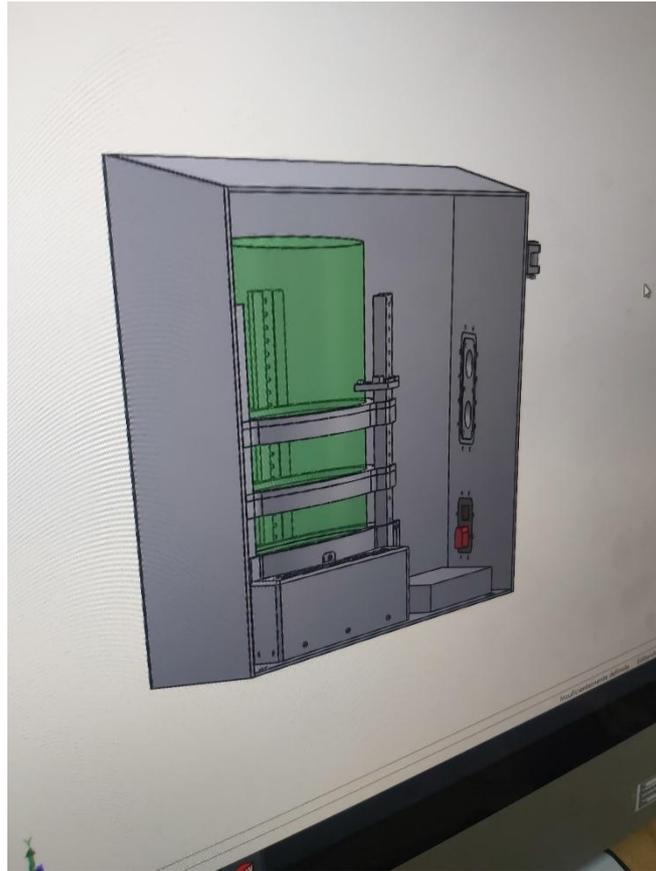
Nota. Configuración del código para que los datos se envíen en Json para que se guarden mediante la API. Fuente: Propia

2.3.7. Implementar

Una vez que se acaba la fase de testeo y los datos que se están obteniendo se guardan en la base de datos pasamos a implementar el modelo que se tenía del biorreactor a un diseño de la caja para que se guarde el biorreactor para que la única luz que se almacena sea la que nos brinda el recipiente como vemos en la Figura 47 y Figura 48 el diseño del almacenamiento y como queda implementado.

Figura 47.

Modelo 3D de almacenamiento.



Nota. Desarrollo de un modelo 3D de almacenamiento del biorreactor para que no entre luz. Fuente: Propia

Figura 48.

Implementación del modelo en 3D.



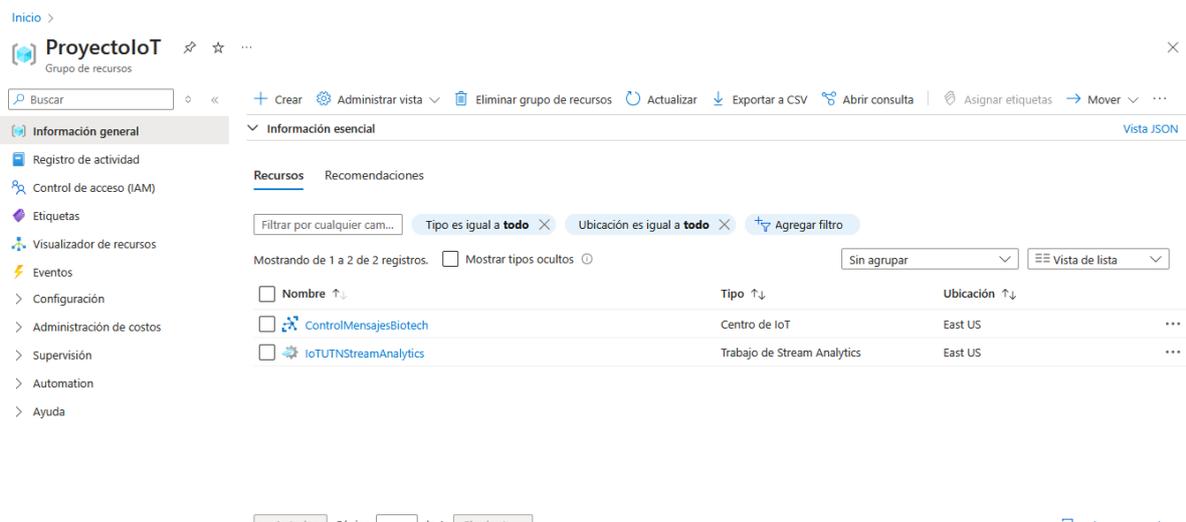
Nota. Creación del modelo diseñado para el almacenamiento del biorreactor para controlar el ingreso de luz. Fuente: Propia

Creación y Configuración de Mensajería

Empezaríamos con la creación de un grupo de recurso en Microsoft Azure en donde vamos a manejar la mensajería de datos como vemos en la figura 49. Una vez que hemos creado un recurso podremos seguir con el siguiente paso.

Figura 49.

Grupo de Recursos.



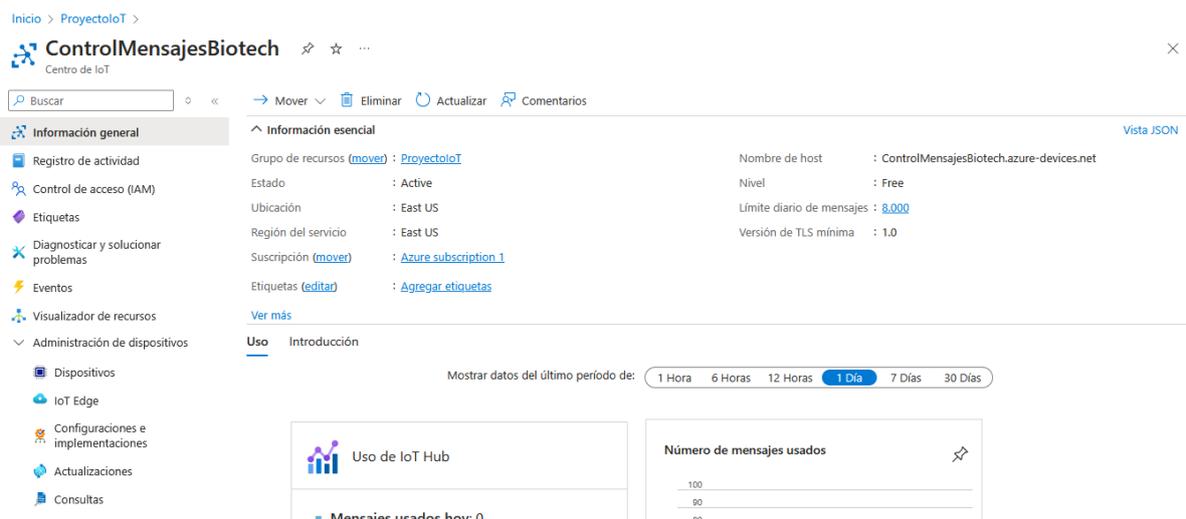
Nota. Creación de grupo de recursos para la mensajería en Microsoft Azure. Fuente: Propia

Creación de un Centro de IoT

Una vez que se haya creado el grupo procedemos a crear nuestro Centro de IoT donde vamos a guardar los datos que mida nuestra placa Esp 32, para ello configuramos nuestro recurso para poder un nombre de Host como vemos en la Figura 50.

Figura 50.

Centro de IoT en nuestro grupo de recursos.

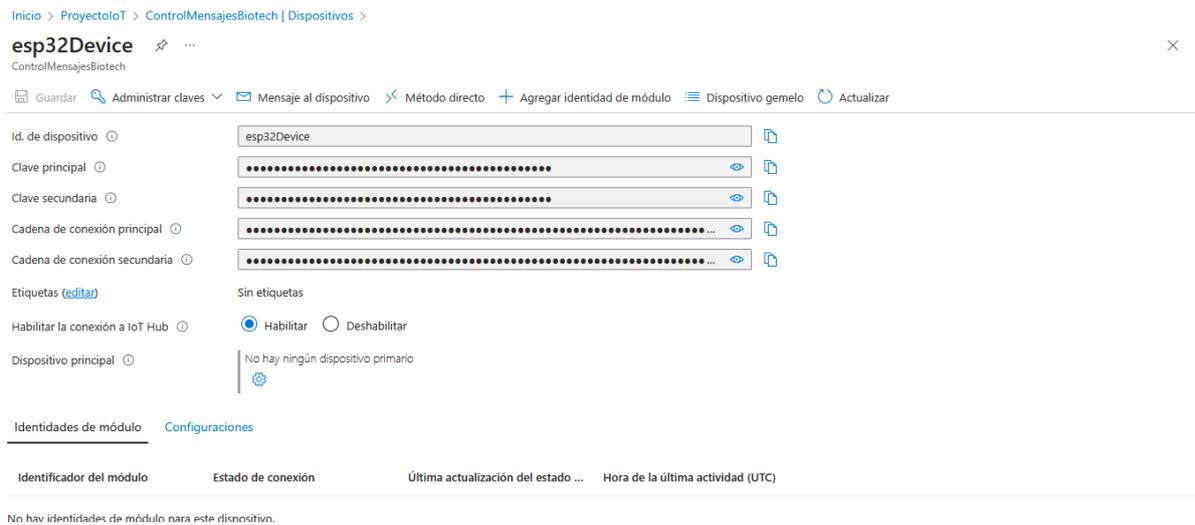


Nota. Creación de recurso de Centro de IoT en nuestro grupo de mensajería en Microsoft Azure. Fuente: Propia

Creado ya nuestro centro de IoT podremos registrar dispositivos, esta opción nos ayuda en la conexión de nuestra placa Esp 32, una vez creado un dispositivo podremos ver el id del dispositivo al igual que la clave primaria y la cadena de conexión que nos va a ayudar a conectar con nuestra placa, la configuración vemos en la figura 51.

Figura 51.

Dispositivo dentro de nuestro Centro IoT.



Nota. Creación de dispositivo dentro de nuestro centro de IoT para conexión con nuestra placa Esp 32. Fuente: Propia

Creación de Stream Analytics

Para la creación de nuestro recurso de Stream Analytics debemos configurar la información que va a pasar por nuestro centro de IoT, en este caso lo que vamos a enviar desde por la mensajería parametrizamos antes de crear nuestro recurso como podemos ver en la figura 52.

Figura 52.

Creación de recurso de Stream Analytics.

Nuevo trabajo de Stream Analytics



Datos básicos Almacenamiento Etiquetas Identidad administrada **Revisar y crear**

Datos básicos

Suscripción	Azure subscription 1
Grupo de recursos	ProyectoIoT
Nombre	IoTUTNStreamAnalytics
Ubicación	East US
Entorno de hospedaje	Cloud
Unidades de streaming	1

Etiquetas

Sensor Luminosidad 1	1-100
Sensor Luminosidad 2	1-100
Sensor Luminosidad 3	1-100
Sensor Turbidez	1-4560

Anterior Siguiente **Crear**

Enviar comentarios

Nota. Creación de recurso de Stream Analytics parametrizando los mensajes que van a llegar para luego ser almacenados. Fuente: Propia

Una vez creado nuestro recurso procedemos a ingresar un dato de entrada que va a ser lo que mandamos desde nuestro Centro de IoT, luego procedemos a procesar los datos y configuramos nuestra salida como podemos ver en la Figura 53 y Figura 54.

Figura 53.

Creación de Topología de trabajo.

IoTUTNStreamAnalytics | Consulta



Buscar Iniciar tarea Abrir en VS Code Configuración de diagnóstico Actualizar Documentos del lenguaje de consulta Compartir comentarios 2 at

Información general Registro de actividad Control de acceso (IAM) Etiquetas Diagnosticar y solucionar problemas Visualizador de recursos Topología de trabajo

- Entradas
- Funciones
- Consulta**
- Salidas
- Editor sin código (vista previa)
- Configuración
- Comentarios con desarrolladores

Entradas (1) Salidas (1) Funciones (0)

ControlMensajesBiotech postgresq

```

1 SELECT
2     luminosidad1,
3     luminosidad2,
4     luminosidad3,
5     turbidez,
6     System.Timestamp AS Tiempo
7 INTO postgresq
8 FROM [ControlMensajesBiotech]
9 WHERE
10    luminosidad1 BETWEEN 1 AND 100
    
```

Vista previa de entrada Resultados de pruebas Simulación de trabajo (versión preliminar)

While sampling data, no data was received from '2' partitions.

Tabla Sin formato Actualizar Seleccionar intervalo de tiempo Cargar entrada de muestra Descargar archivo

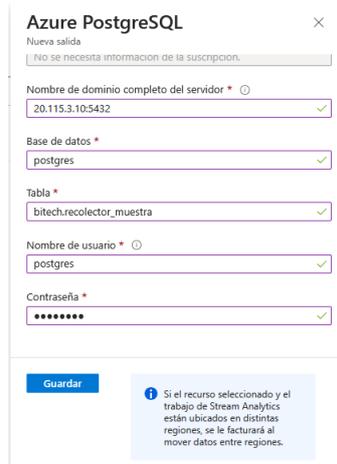
While sampling data, no data was received from '2' partitions. Lin. 1, col. 1

Nota. Creación de topología de trabajo dentro de nuestro recurso de Stream Analytics.

Fuente: Propia

Figura 54.

Configuración de nuestra base de datos.



The image shows a configuration window for Azure PostgreSQL. The window title is "Azure PostgreSQL" with a close button (X) in the top right corner. Below the title, there is a note: "Nueva salida" and "No se necesita información de la suscripción." followed by a text input field. The main configuration fields are:

- Nombre de dominio completo del servidor ***: A dropdown menu with the value "20.115.3.10:5432" and a checkmark.
- Base de datos ***: A dropdown menu with the value "postgres" and a checkmark.
- Tabla ***: A dropdown menu with the value "bitech.recolector_muestra" and a checkmark.
- Nombre de usuario ***: A dropdown menu with the value "postgres" and a checkmark.
- Contraseña ***: A text input field with masked characters "*****" and a checkmark.

At the bottom left, there is a blue "Guardar" button. At the bottom right, there is a light blue information box with an "i" icon and the text: "Si el recurso seleccionado y el trabajo de Stream Analytics están ubicados en distintas regiones, se le facturará al mover datos entre regiones."

Nota. Configuración de nuestra base de datos para la salida de nuestra topología de trabajo. Fuente: Propia

Una vez ya terminado nuestro centro de comunicación procedemos al desarrollo de nuestro código que se va a conectar con nuestro centro de IoT y donde mandaremos nuestra información a ser guardada.

Configuración placa Esp 32

Una vez registrado un nuevo dispositivo con la cadena de conexión configuramos nuestra placa Esp 32 para poder registrar datos mediante nuestro centro de IoT, lo primero que hacemos es configurar el código con la conexión del Wifi y la cada de conexión como vemos en la Figura 55.

Figura 55.

Configuración de conexiones.

```
20 // Configura tus credenciales de WiFi
21 #define WIFI_SSID "Netlife-Tefoska"
22 #define WIFI_PASSWORD "palito123scu"
23
24 // Configura las credenciales de Azure IoT Hub
25 #define IOT_HUB_CONNECTION_STRING "HostName=ControlMensajesBiotech.azure-devices.net;DeviceId=esp32Device;SharedAccessKey=4A08/pAyQTTzhAV11jXAITaEweZxYXDGAIOTK4QHzE="
26
27 // Etiqueta para el logging
28 static const char *TAG = "azure_iot_example";
29
30 // Función para inicializar WiFi
31 void wifi_init_sta(void) {
32     // Inicializa el NVS (Non-Volatile Storage)
33     esp_err_t ret = nvs_flash_init();
34     if (ret == ESP_ERR_NVS_NO_FREE_PAGES || ret == ESP_ERR_NVS_NEW_VERSION_FOUND) {
35         ESP_ERROR_CHECK(nvs_flash_erase());
36         ret = nvs_flash_init();
37     }
38     ESP_ERROR_CHECK(ret);
39
40     // Inicializa la interfaz de red y el bucle de eventos
41     ESP_ERROR_CHECK(esp_netif_init());
42     ESP_ERROR_CHECK(esp_event_loop_create_default());
43     esp_netif_create_default_wifi_sta();
44
45     // Configura WiFi
46     wifi_init_config_t cfg = WIFI_INIT_CONFIG_DEFAULT();
47     ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_init(&cfg));
48
49     wifi_config_t wifi_config = {
50         .sta = {
51             .ssid = WIFI_SSID,
52             .password = WIFI_PASSWORD,
53         },
54     };
55 }
```

Nota. Configuración de conexión Wifi y conexión a dispositivo de nuestro centro de IoT. Fuente: Propia

Realizada las conexiones y viendo que copilo nuestro código en la placa Esp 32, procedemos a subir nuestro código en nuestro versionamiento de proyecto de Git Hub como vemos en la figura 56.

Figura 56.

Proyecto publicado en Git Hub.

```
1 #include <stdio.h>
2 #include "freertos/FreeRTOS.h"
3 #include "freertos/task.h"
4 #include "esp_system.h"
5 #include "esp_wifi.h"
6 #include "esp_event.h"
7 #include "nvs_flash.h"
8 #include "esp_log.h"
9
10 // Cabeceras del SDK de Azure IoT Hub
11 #include "azure_c_shared_utility/platform.h"
12 #include "azure_c_shared_utility/threadapi.h"
13 #include "azure_c_shared_utility/crt_abstractions.h"
14 #include "iothub_client.h"
15 #include "iothub_message.h"
16 #include "iothubtransportmqtt.h"
17
```

Nota. Publicación del código fuente en Git Hub. Fuente: Propia

Prototipos de Power BI

Definición de modelo Alfa de Power BI

Definición de Historias de Usuario

Empezamos desarrollando las historias de usuario para nuestro modelo Alfa, como hemos estado usando, usaremos el modelo de T-Shirt, en estas historias de usuario se busca levantar lo que quiere ver el encargado de revisar las mediciones registradas, para ello levantaremos las historias de usuario del modelo Alfa como vemos en la tabla 16.

Tabla 16.

Lista de Historias de Usuario del Modelo Alfa.

ID	Titulo	Prioridad	Estimación
HU-001	Visualización de datos de ingreso y estado del biorreactor	5	L
HU-002	Análisis de niveles de luminosidad en el biorreactor	4	M
HU-003	Monitoreo de la turbidez en el biorreactor	4	M
HU-004	Información contextual del biorreactor y toma de datos	5	L

Nota. Historias de usuarios, con prioridad y su estimación.

Después de llevar a cabo el análisis de prioridades y estimaciones utilizando el modelo T-Shirt, se procedió a detallar las historias de usuario de los Dashboards, junto con sus respectivos criterios de aceptación, como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 57.

Historia de Usuario 1 de la versión Alfa.

Historia de Usuario	
Código: HU-001	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Visualización de datos de ingreso y estado del biorreactor	
Prioridad: 5	Esfuerzo: L
Descripción: Como investigador o encargado del biorreactor, quiero visualizar un resumen de los últimos datos registrados de luminosidad y turbidez, para conocer el estado actual del sistema y la última medición registrada.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none"> • Debe mostrar la última fecha y hora de ingreso de datos. • Debe indicar el número de mediciones de turbidez registradas. • Debe presentar un gráfico con las mediciones recientes de los sensores de luminosidad y turbidez. Debe permitir acceder a secciones detalladas de luminosidad, turbidez y datos del biorreactor. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 1 de la versión Alfa. Fuente: Propia

Figura 58.

Historia de Usuario 2 de la versión Alfa.

Historia de Usuario	
Código: HU-002	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Análisis de niveles de luminosidad en el biorreactor	
Prioridad: 4	Esfuerzo: M
Descripción: Como investigador o encargado del biorreactor, quiero visualizar los datos de los sensores de luminosidad en un rango de fechas, para analizar la evolución de los niveles de luminosidad y tomar decisiones basadas en estos datos.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none"> • Debe permitir seleccionar un rango de fechas. • Debe mostrar los valores promedio de luminosidad de cada sensor. • Debe representar gráficamente los datos de los sensores de luminosidad. 	

- Debe permitir comparar los datos históricos de los sensores.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 2 de la versión Alfa. Fuente: Propia

Figura 59.

Historia de Usuario 3 de la versión Alfa.

Historia de Usuario	
Código: HU-003	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Monitoreo de la turbidez en el biorreactor	
Prioridad: 4	Esfuerzo: M
Descripción: Como investigador o encargado del biorreactor, quiero visualizar los niveles de turbidez registrados en un rango de fechas, para evaluar la calidad del contenido en el biorreactor y hacer ajustes si es necesario.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> • Debe mostrar la última fecha y hora de medición de turbidez. • Debe mostrar el valor promedio de turbidez en el periodo seleccionado. • Debe representar gráficamente los datos de turbidez. • Debe permitir analizar tendencias de la turbidez en el tiempo. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 3 de la versión Alfa. Fuente: Propia

Figura 60.

Historia de Usuario 4 de la versión Alfa.

Historia de Usuario	
Código: HU-004	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Información contextual del biorreactor y toma de datos	
Prioridad: 5	Esfuerzo: L

Descripción: Como investigador o encargado del biorreactor, quiero visualizar la información relevante sobre la toma de datos y el biorreactor, para tener un contexto adecuado de las mediciones registradas y su procedencia.

Criterios de aceptación:

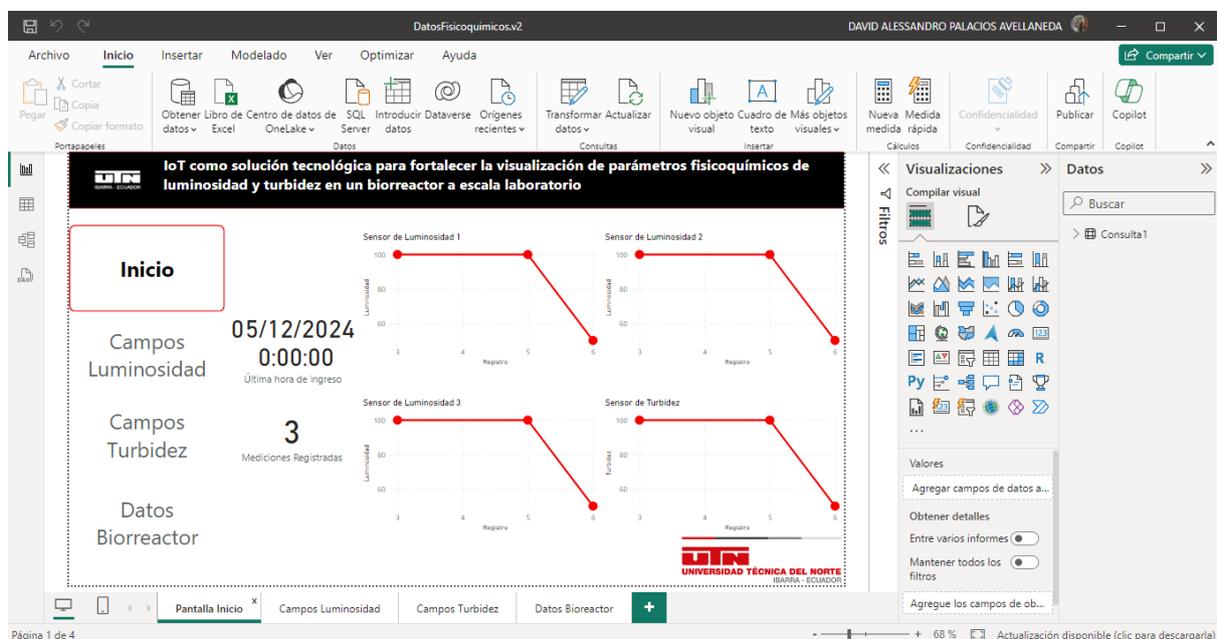
- Debe mostrar un mapa con la ubicación de la toma de datos.
- Debe indicar el nombre del encargado/a de la toma de datos.
- Debe proporcionar detalles del biorreactor, incluyendo número de cepa y fecha de recolección.
- Debe ser accesible desde la pantalla de inicio y permitir consultar esta información en cualquier momento.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 4 de la versión Alfa. Fuente: Propia

Una vez levantada las historias de usuario procedemos con el diseño que se lo hizo en Power BI tomando en cuenta los datos que se tienen, empezamos con la primera historia de usuario que es una pantalla de Inicio en la que se muestra la información general de las mediciones como vemos en la Figura 61.

Figura 61.

Primera pantalla de Inicio.

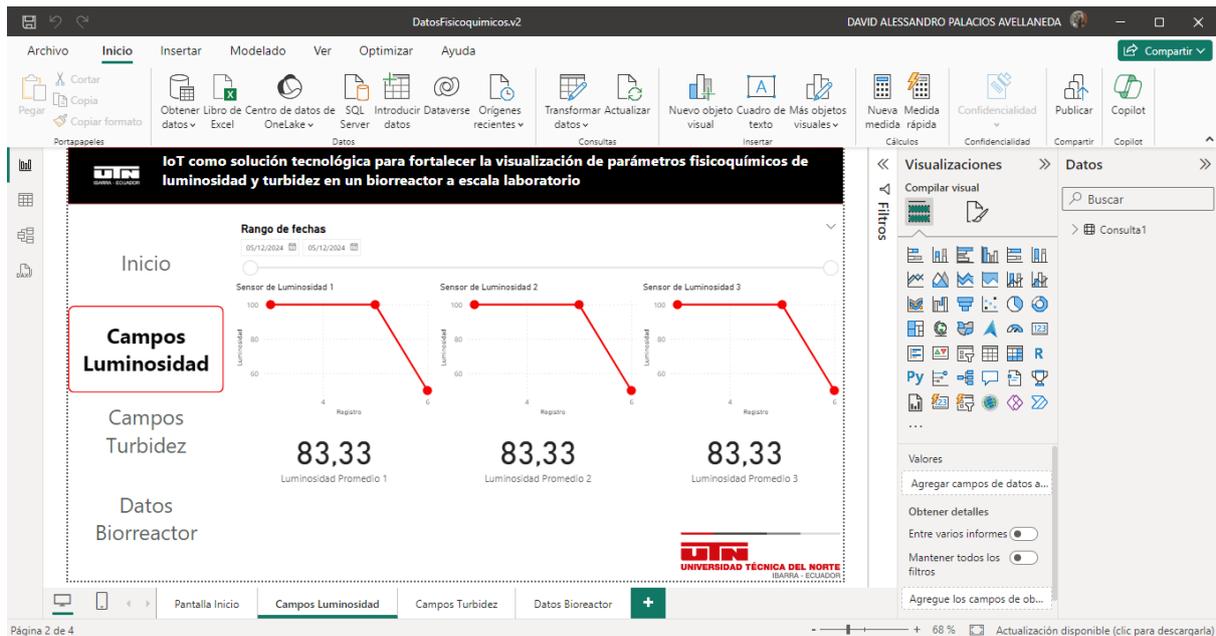


Nota. Pantalla de inicio desarrollada en Power BI. Fuente: Propia

Para la segunda pantalla se desarrolló para los campos de luminosidad en los cuales se los va a tomar en un rango de fecha los datos del mismo modo la medición de los 3 sensores y un promedio en general de lo que se ha medido en un rango de fechas como vemos en la figura 62.

Figura 62.

Segunda pantalla de Campos de Luminosidad.

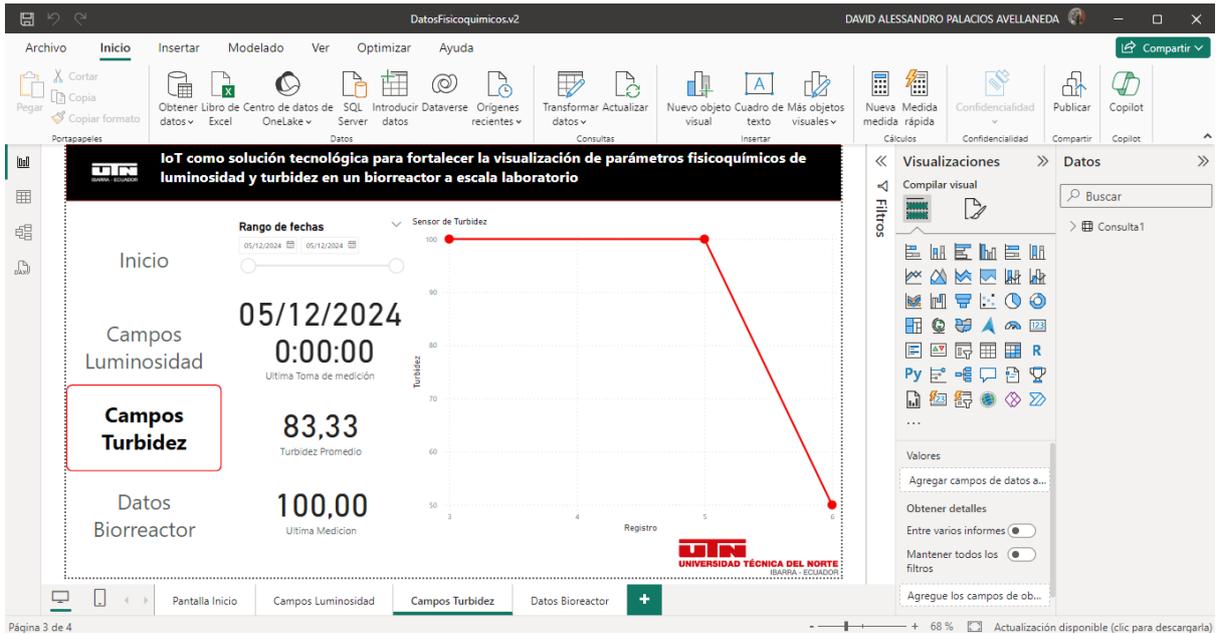


Nota. Pantalla de Campos de Luminosidad desarrollada en Power BI. Fuente: Propia

Para la tercera pantalla se desarrolló para los campos de turbidez en donde se detalla la fecha en la que se realizó la última toma de la medición, turbidez promedio en un rango de fechas, la fecha de la última toma y un diagrama como ha ido en el rango de fechas como vemos en la Figura 63.

Figura 63.

Tercer pantalla de Campos de Turbidez.

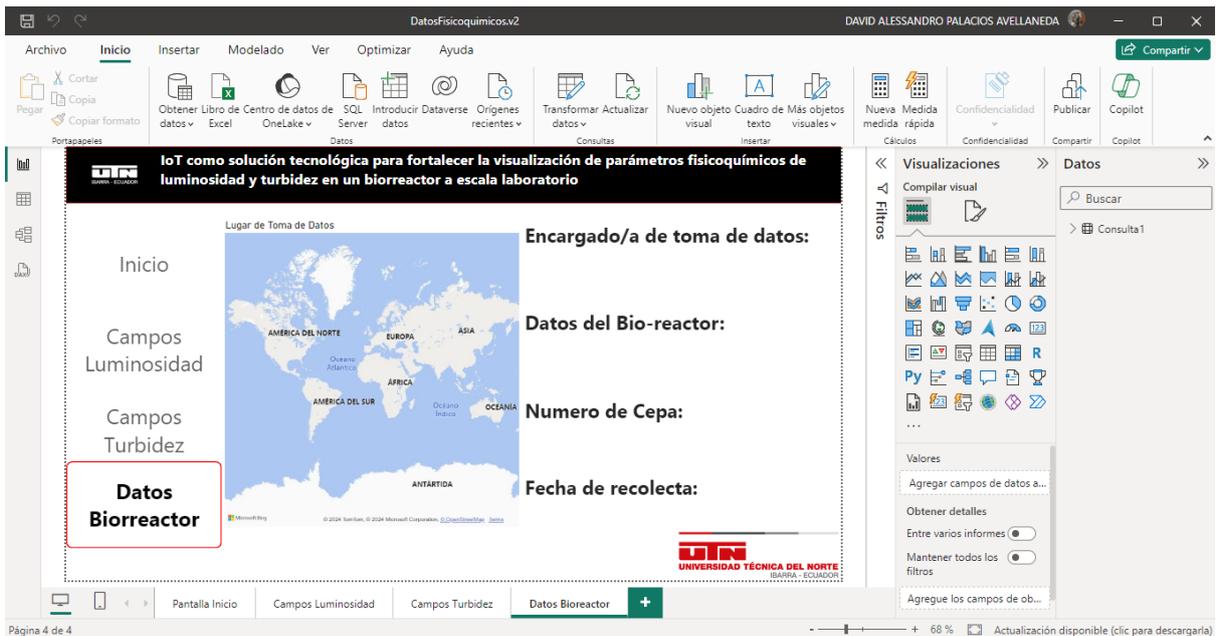


Nota. Pantalla de Campos de Turbidez desarrollada en Power BI. Fuente: Propia

Para la cuarta pantalla se tomó en cuenta los datos generales del biorreactor como el encargado de la toma de datos, el numero de la cepa que se está midiendo y la fecha que se tomó la recolecta al igual del lugar de donde se tomó la medición como vemos en la Figura 64.

Figura 64.

Cuarta pantalla de datos del Biorreactor.



Nota. Pantalla de Datos del Biorreactor desarrollada en Power BI. Fuente: Propia

Producto mínimo viable de una versión preliminar de Plataforma de BI

Después de presentar las versiones Alpha y Beta de la plataforma de BI como producto mínimo viable a los usuarios finales, conformados por docentes e investigadores del proyecto, se realizó una encuesta exploratoria con el objetivo de validar los requisitos establecidos en las historias de usuario previamente definidas.

Para evaluar la plataforma, la encuesta se estructuró en torno a tres aspectos clave: su funcionalidad, la relación con las historias de usuario y la efectividad de las visualizaciones en la representación de los datos. Las preguntas fueron formuladas utilizando una escala de Likert, permitiendo a los participantes expresar su nivel de satisfacción con opciones que iban desde "Nada" hasta "Muy Alto".

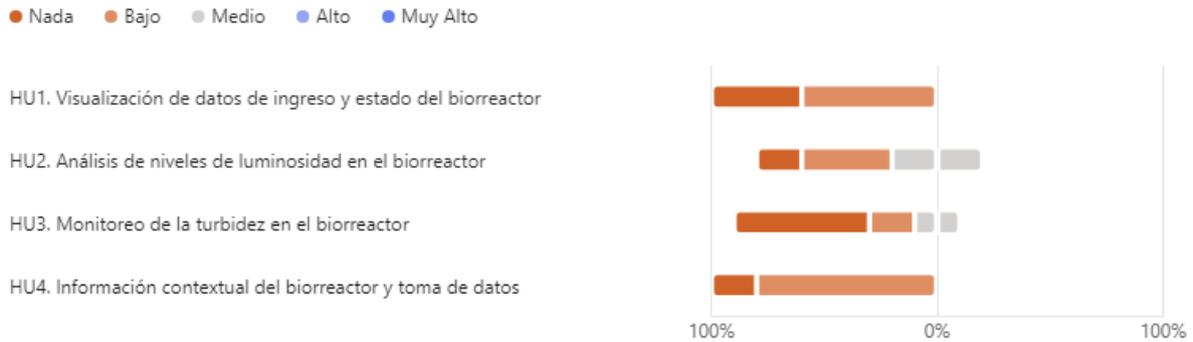
En la Figura 65, se presentan los resultados obtenidos tras la socialización de las versiones preliminares de la plataforma de BI. En términos de nivel de satisfacción, se observa que la mayor frecuencia se concentra en la categoría Bajo y Nada, evidenciando que los usuarios perciben un cumplimiento limitado de los requisitos. Aunque hay algunos casos en los que se reporta un nivel de satisfacción Medio, las respuestas con calificaciones Altas o Muy Altas son menos representativas.

A partir de estos resultados, se puede inferir que la percepción general de la plataforma se ubica entre un nivel bajo y medio de satisfacción, lo que resalta la necesidad de ajustes y mejoras en la solución de BI. Con base en esta retroalimentación, se identificaron nuevos requisitos que permitirán optimizar la experiencia del usuario y mejorar el cumplimiento de las expectativas establecidas en las historias de usuario.

Figura 65.

Encuesta de Socialización.

¿Cuál considera que es el nivel de cumplimiento de los requerimientos de usuario?



Nota. Encuestas de cumplimiento de requerimientos del usuario. Fuente: Propia

Como parte de la encuesta, se incluyó una pregunta basada en el Net Promoter Score (NPS) para evaluar el nivel de recomendación y adopción de la solución de BI por parte de los usuarios. En la Figura 66, se observa que el resultado refleja una percepción negativa de la plataforma, con un NPS de -100. Esto se debe a que todos los participantes fueron clasificados como detractores (5 usuarios), sin que se identificaran promotores o usuarios pasivos.

Este resultado indica que la solución de BI, en su estado actual, no genera una experiencia satisfactoria para los usuarios y resalta la necesidad de realizar mejoras significativas en la plataforma para aumentar su aceptación y recomendación.

Figura 66.

Encuesta Net Promoter Score.



Nota. Encuestas Net Promoter Score de recomendación de la versión Alfa de la solución BI. Fuente: Propia

Redefinición del Modelo para una solución en Power BI

Redefinición de Historias de Usuario

Una vez que se ha realizado las encuestas y diseño de pantallas de la versión Alfa, se empezó a redefinir dentro de una versión Beta, donde se levantó nuevamente los requisitos y se crearon nuevas historias de usuario para implementación de nuevas pantallas para que sea entendible por parte del usuario final, se empezó con el listado de historias de usuario como vemos en la Tabla 5, se usó como estimación el modelo T-Shirt.

Tabla 17.

Lista de Historias de Usuario de Modelo Beta.

ID	Titulo	Prioridad	Estimación
HU-001	Dashboard Principal	5	L
HU-002	Análisis Detallado de Luminosidad	4	M
HU-003	Análisis Detallado de Turbidez	4	M
HU-004	Estado del Biorreactor	3	S
HU-005	Ubicación Geográfica de las Muestras	4	M
HU-006	Personal Recolector de Muestras	3	S
HU-007	Estado de Sensores	4	S
HU-008	Análisis Comparativo por Lugar o Estación	5	M
HU-009	Análisis Histórico (Historial de Mediciones)	5	L

Nota. Historias de usuarios, con prioridad y su estimación.

Una vez que se realizó el análisis de prioridades y estimaciones usando el modelo T-Shirt, se empezó a detallar las historias de usuario de los Dashboard y sus criterios de aceptación como vemos en las siguientes imágenes.

Figura 67.

Historia de Usuario 1 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-001	Dependencia: Ninguna
Nombre de Historia: Dashboard Principal	
Prioridad: 5	Esfuerzo: L
Descripción: Como usuario, quiero visualizar un resumen general del estado del biorreactor con indicadores clave, gráficos y filtros, para obtener una vista rápida de su funcionamiento.	
Criterios de aceptación:	
<ul style="list-style-type: none"> Validación del equipo de investigación sobre la claridad y accesibilidad de los datos presentados. 	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 1 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 68.

Historia de Usuario 2 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-002	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Análisis Detallado de Luminosidad	
Prioridad: 4	Esfuerzo: M
Descripción: Como investigador, quiero analizar la distribución de los valores de luminosidad a lo largo del tiempo, para evaluar su comportamiento y detectar anomalías	

Criterios de aceptación:

- Confirmación de que los gráficos permiten una clara identificación de patrones en los datos de luminosidad.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 2 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 69.

Historia de Usuario 3 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-003	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Análisis Detallado de Turbidez	
Prioridad: 4	Esfuerzo: M
Descripción: Como usuario, quiero visualizar la evolución y estado actual de la turbidez en el biorreactor, para evaluar si se mantiene dentro de los valores óptimos.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Revisión del equipo técnico para garantizar que los gráficos sean interpretables y útiles en la toma de decisiones.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 3 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 70.

Historia de Usuario 4 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-004	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Estado del Biorreactor	
Prioridad: 3	Esfuerzo: S
Descripción: Como administrador del laboratorio, quiero conocer rápidamente el estado actual del biorreactor, para verificar su operatividad.	

Criterios de aceptación:

- Confirmación del equipo de monitoreo sobre la precisión y claridad del estado del biorreactor.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 4 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 71.

Historia de Usuario 5 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-005	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Ubicación Geográfica de las Muestras	
Prioridad: 4	Esfuerzo: M
Descripción: Como investigador, quiero ver en un mapa la ubicación de las muestras tomadas, para analizar la distribución geográfica de las mediciones.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Verificación de que los puntos geográficos reflejan con precisión los datos de la base de datos.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 5 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 72.

Historia de Usuario 6 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-006	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Personal Recolector de Muestras	
Prioridad: 3	Esfuerzo: S
Descripción: Como supervisor, quiero ver información del personal recolector de muestras, para gestionar su trabajo y verificar la calidad del proceso.	

Criterios de aceptación:

- Confirmación de la correcta visualización de datos del personal en la tabla correspondiente.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 6 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 73.

Historia de Usuario 7 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-007	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Estado de Sensores	
Prioridad: 4	Esfuerzo: S
Descripción: Como técnico de mantenimiento, quiero ver el estado actual de los sensores del biorreactor, para identificar posibles fallos o desconexiones.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Validación de que los datos de los sensores reflejan el estado real del hardware en el sistema.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 7 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 74.

Historia de Usuario 8 de la versión Beta.

Historia de Usuario	
Código: HU-008	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Análisis Comparativo por Lugar o Estación	
Prioridad: 5	Esfuerzo: M
Descripción: Como investigador, quiero comparar los valores de luminosidad y turbidez en diferentes estaciones de monitoreo, para evaluar diferencias en las mediciones.	

Criterios de aceptación:

- Confirmación de que los gráficos permiten un análisis comparativo claro entre ubicaciones.

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 8 de la versión Beta. Fuente: Propia

Figura 75.

Historia de Usuario 9 de la versión Beta.

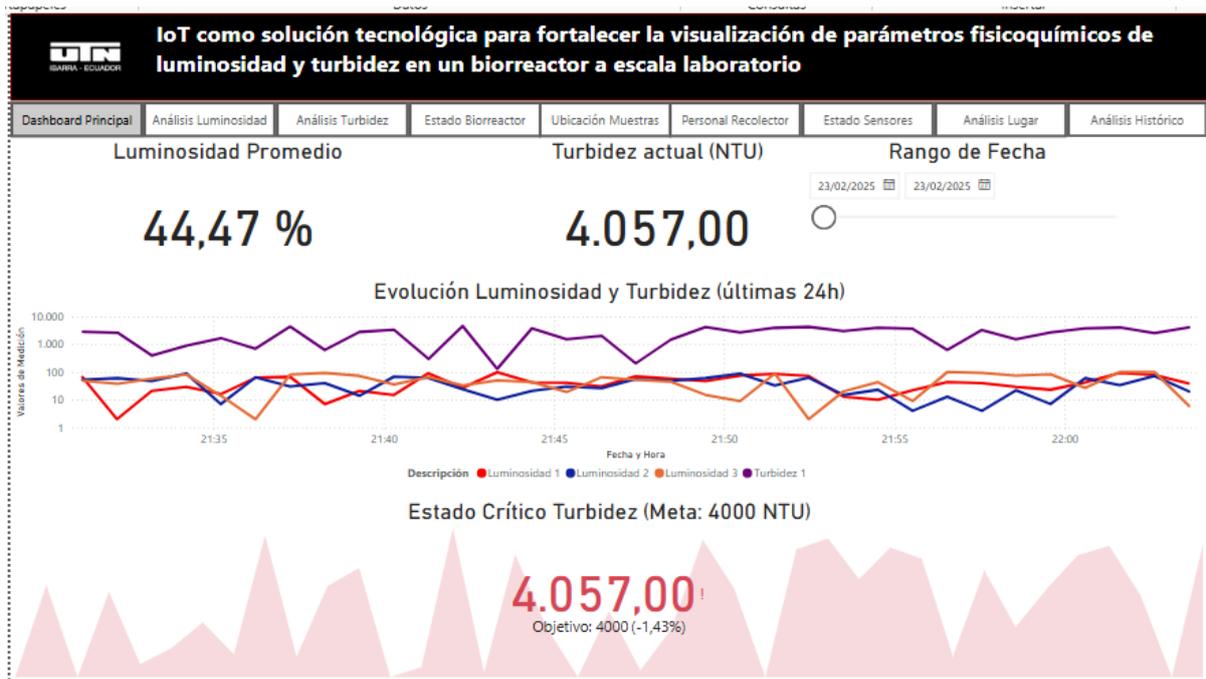
Historia de Usuario	
Código: HU-009	Dependencia: HU-001
Nombre de Historia: Análisis Histórico (Historial de Mediciones)	
Prioridad: 5	Esfuerzo: L
Descripción: Como analista, quiero visualizar la evolución de los parámetros a lo largo del tiempo, para identificar tendencias y variaciones en el comportamiento del biorreactor.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">• Validación de que los gráficos históricos muestran datos precisos y en un formato comprensible.	

Nota. Detalle de la Historia de Usuario 9 de la versión Beta. Fuente: Propia

Una vez claro las pantallas que necesitamos realizar a partir de las historias de usuario levantadas empezamos a diseñar la primera pantalla que contiene un resumen general de los principales parámetros monitoreados, también se muestra la luminosidad promedio, la turbidez actual y una gráfica de evolución de ambas variables e incluye un selector de rango de fechas para filtrar los datos como vemos en la Figura 74.

Figura 76.

Pantalla 1 de la versión Beta.

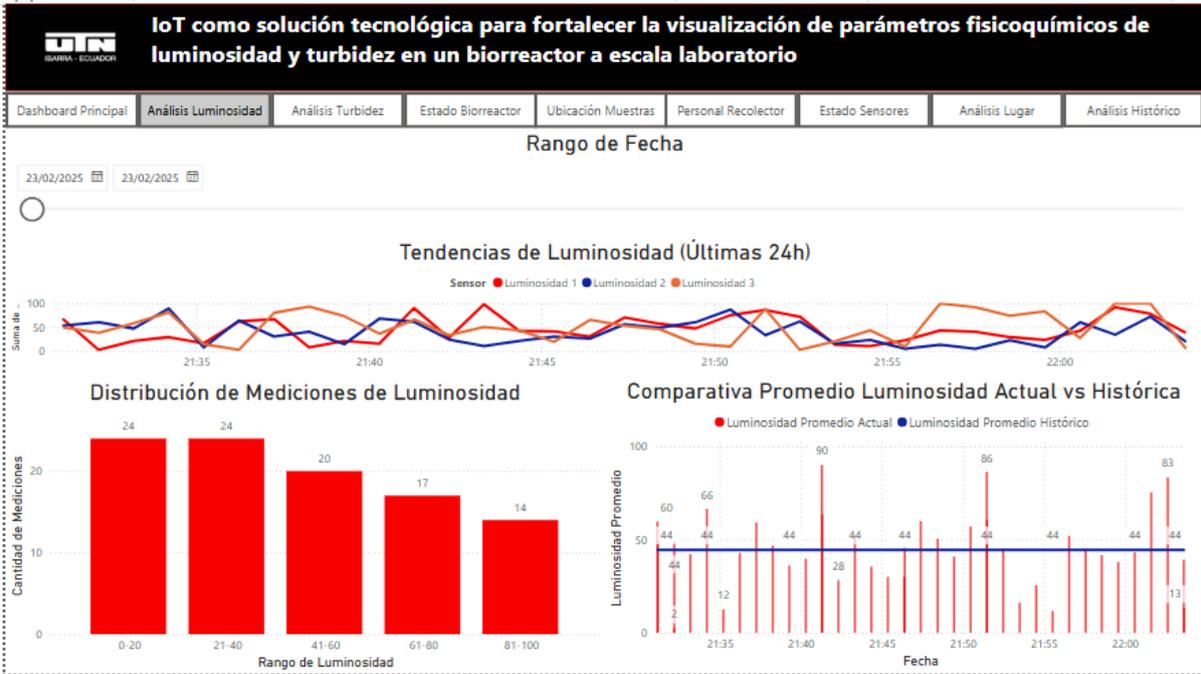


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 1 de la versión Beta. Fuente: Propia

Ahora continuamos con la segunda pantalla que depende de la primera pantalla, se va a presentar un histograma y gráficos que muestran la distribución y evolución de la luminosity lo que va a permitir analizar tendencias y valores atípicos como vemos en la Figura 77.

Figura 77.

Pantalla 2 de la versión Beta.



Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 2 de la versión Beta. Fuente: Propia

Tenemos la siguiente pantalla la que se puede visualizar gráficos de líneas y un gauge que muestra la evolución y el estado actual de la turbidez como vemos en la Figura 78.

Figura 78.

Pantalla 3 de la versión Beta.

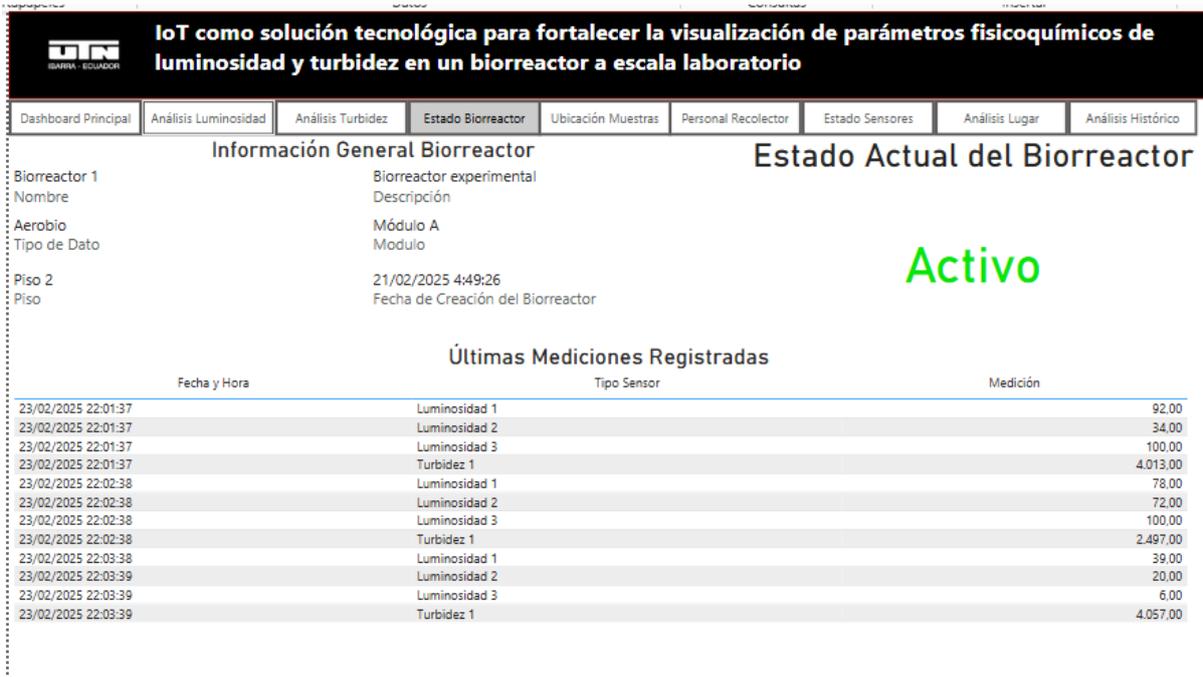


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 3 de la versión Beta. Fuente: Propia

De la Historia de Usuario de Dashboard tenemos el estado del biorreactor en la que se visualiza una tarjeta visual el estado operativo del biorreactor como vemos en la Figura 79.

Figura 79.

Pantalla 4 de la versión Beta.



Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 4 de la versión Beta. Fuente: Propia

Como quinta pantalla tenemos la ubicación geográfica, dentro de la pantalla se va a presenta un mapa con la ubicación de los puntos donde se tomaron muestras de medición como vemos en la Figura 80.

Figura 80.

Pantalla 5 de la versión Beta.

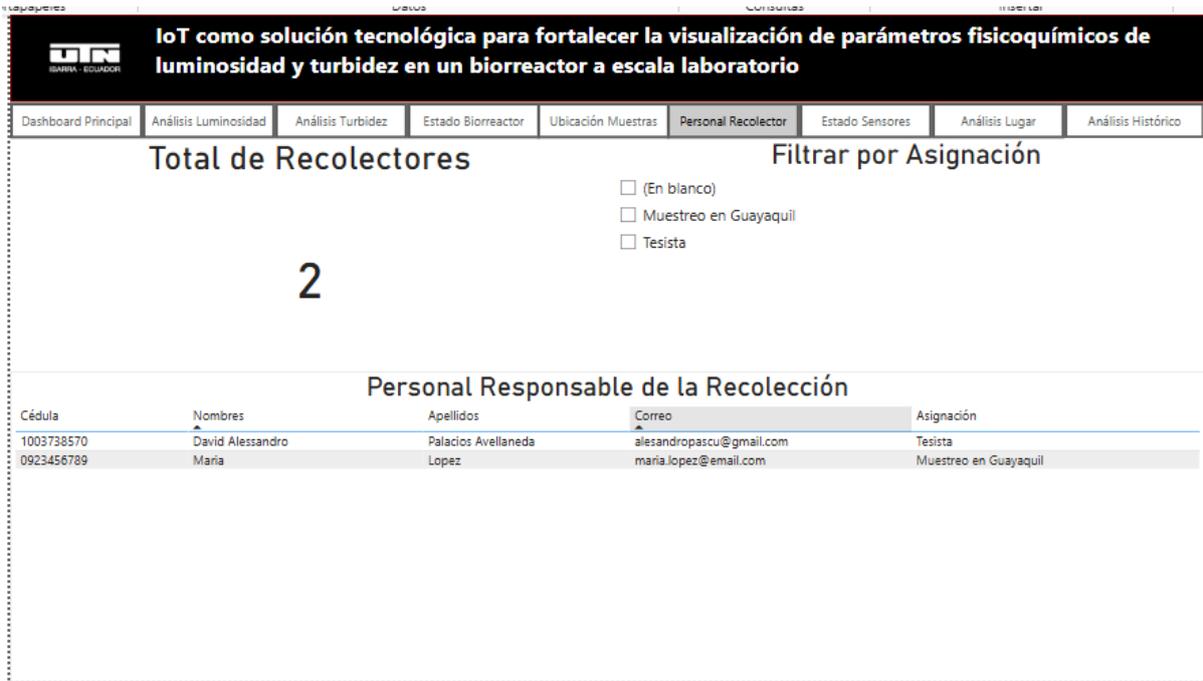


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 5 de la versión Beta. Fuente: Propia

En la sexta pantalla que levantamos en historias de usuario se muestra información del personal encargado de la recolección de muestras como vemos en la Figura 81.

Figura 81.

Pantalla 6 de la versión Beta.

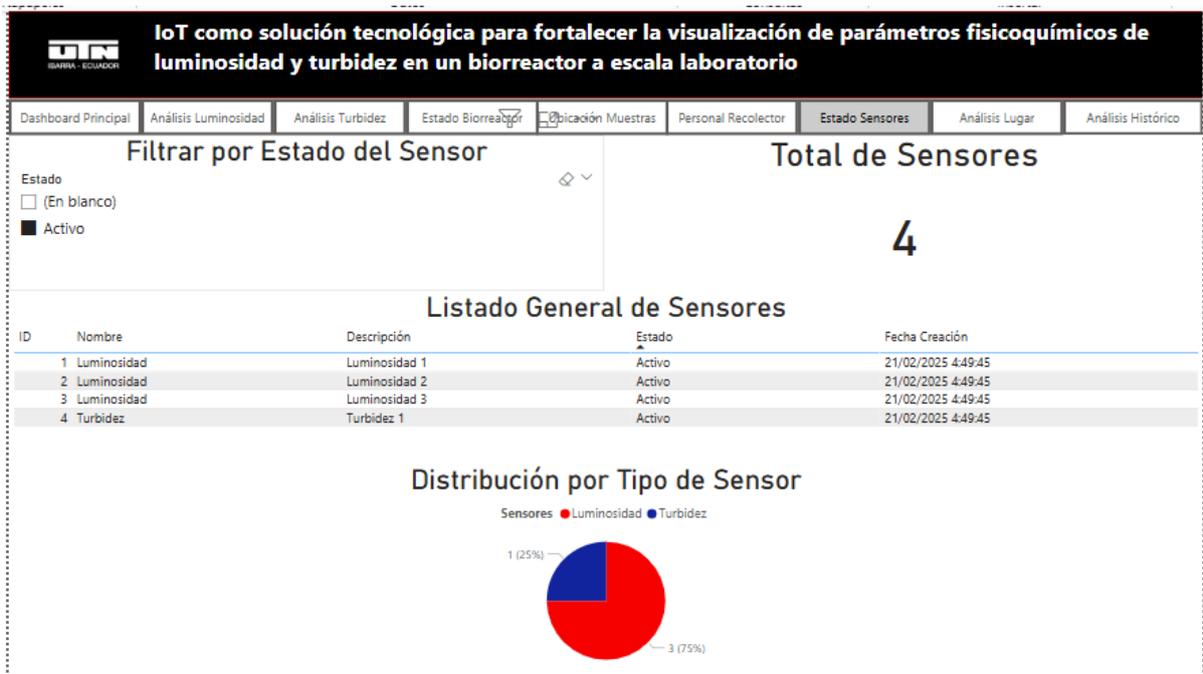


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 6 de la versión Beta. Fuente: Propia

También se diseñó una pantalla en la que se muestra información sobre los sensores en funcionamiento y sus estados operativos como vemos en la Figura 82.

Figura 82.

Pantalla 7 de la versión Beta.

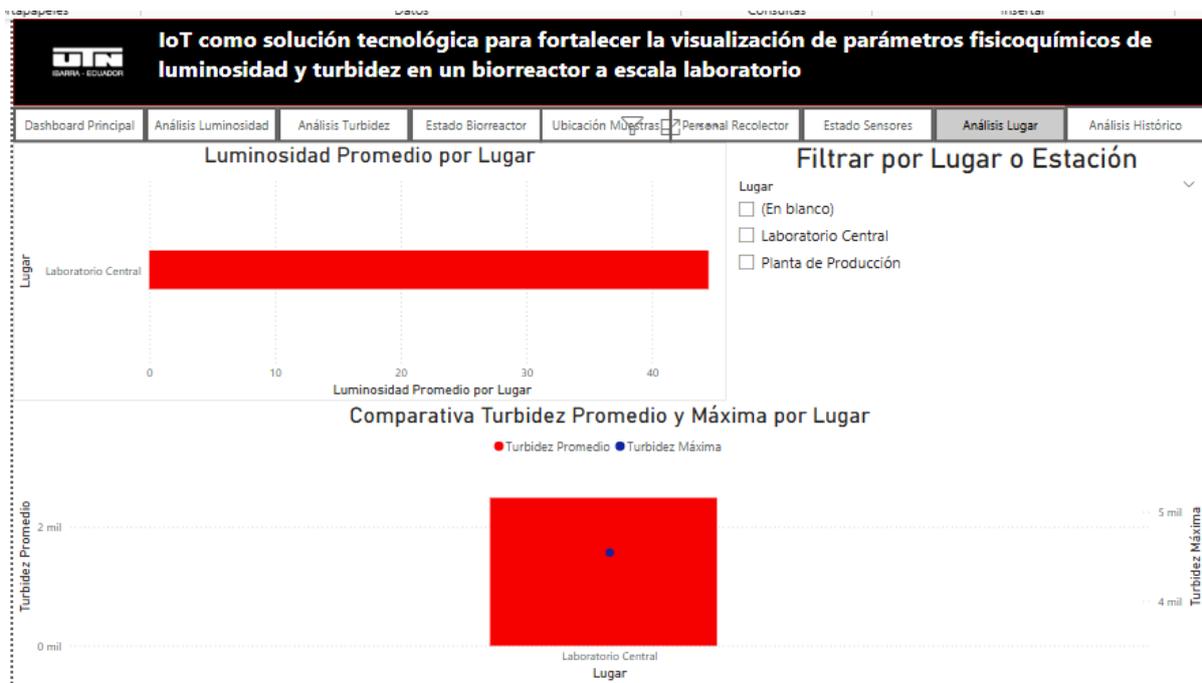


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 7 de la versión Beta. Fuente: Propia

Se creó una pantalla para tener un análisis comparativo por lugar lo que permite comparar los valores promedio de luminosidad y turbidez según la ubicación de los sensores como vemos en la Figura 83.

Figura 83.

Pantalla 8 de la versión Beta.

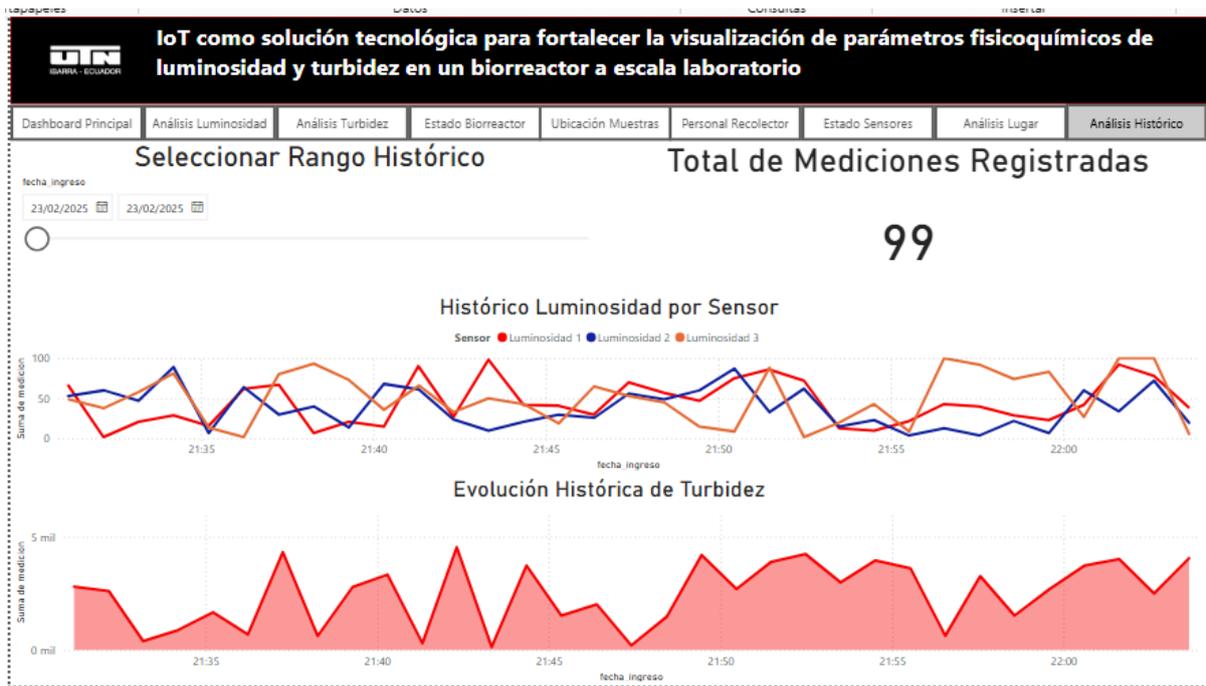


Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 8 de la versión Beta. Fuente: Propia

Como última pantalla se creó un Análisis Histórico (Historial de Mediciones) en la que se presenta la evolución histórica de luminosidad y turbidez como vemos en la Figura 84.

Figura 84.

Pantalla 9 de la versión Beta.



Nota. Dashboard en Power BI de la Historia de Usuario 9 de la versión Beta. Fuente: Propia

Producto mínimo viable de una versión final de la Plataforma de BI

Se volvió a realizar la encuesta a los Docentes colaboradores y estudiantes de la carrera de biotecnología indicando una versión final del diseño de las pantallas en Power BI mediante una encuesta, se aplico los diferentes cambios que se levanto nuevamente en las historias de usuario para tener una versión final de aceptación de datos.

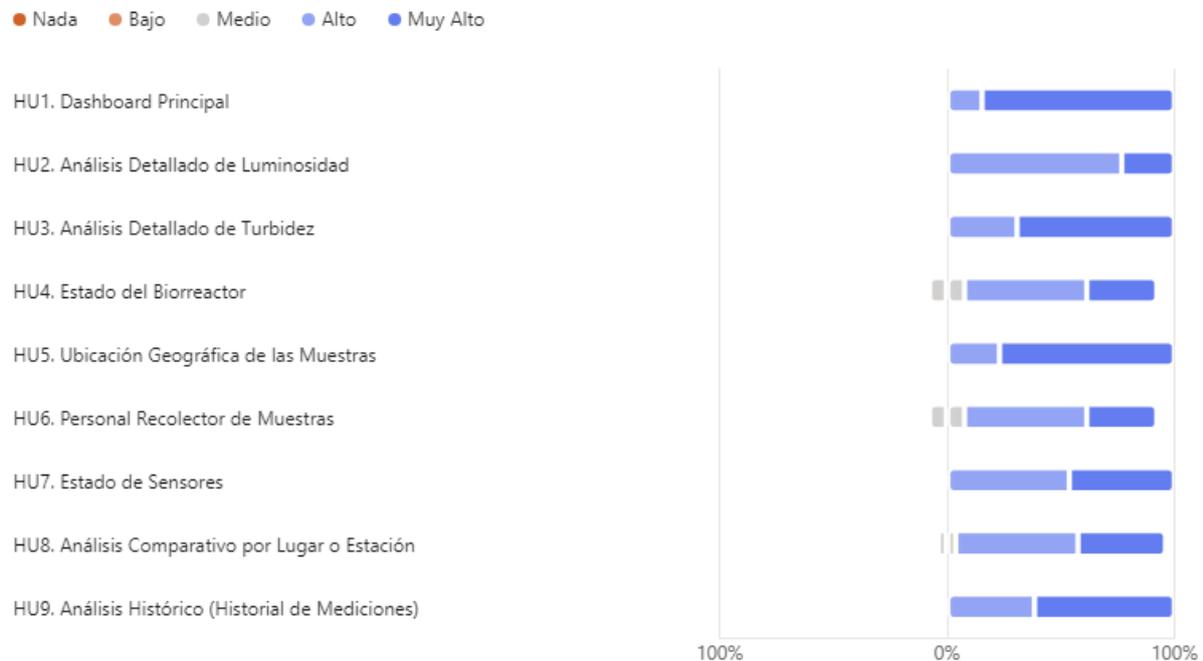
En la Figura 85, se evidencia una tendencia positiva en el nivel de satisfacción de los usuarios con la solución de BI. Los resultados reflejan que la mayoría de las respuestas se encuentran en las categorías Alto y Muy Alto, lo que indica una percepción favorable sobre el cumplimiento de los requisitos. En comparación con evaluaciones anteriores, se observa una reducción en los niveles de insatisfacción, consolidando una mejora significativa.

El porcentaje de respuestas en la categoría Baja es mínimo, mientras que la opción Medio presenta una ligera presencia. Sin embargo, la mayor concentración de respuestas en Alto y Muy Alto confirma que los ajustes y optimizaciones realizadas han tenido un impacto positivo en la experiencia del usuario, logrando un alto grado de aceptación y validación de la plataforma.

Figura 85.

Encuesta de cumplimiento.

PV1. ¿Cuál considera que es el nivel de cumplimiento de los requerimientos de usuario?



Nota. Recolección de datos del cumplimiento de las correcciones a docentes y estudiantes de la carrera de biotecnología. Fuente: Propia

Se llevó a cabo una nueva medición del Net Promoter Score (NPS) para evaluar nuevamente el nivel de satisfacción y recomendación de los usuarios con la solución de BI. En la Figura 86, se evidencia una mejora significativa en la percepción de la plataforma, alcanzando un NPS de 62, lo que indica una experiencia altamente positiva.

En esta evaluación, ningún usuario fue clasificado como detractor, mientras que la mayoría de los participantes se identificaron como promotores (8 usuarios), reflejando un alto grado de satisfacción y recomendación. Además, se registraron 5 usuarios pasivos, lo que sugiere que, aunque su percepción es favorable, aún hay oportunidades para optimizar la solución y mejorar su nivel de compromiso.

Estos resultados confirman que las mejoras implementadas han generado una respuesta positiva en los usuarios finales, consolidando la aceptación y validación de la plataforma.

Figura 86.

Encuesta de Net Promover Score.



Nota. Recolección de datos de la encuesta de Net Promoter Score de las correcciones a docentes y estudiantes de la carrera de biotecnología. Fuente: Propia

CAPÍTULO III

3.1. Análisis e Interpretación de Resultados

3.1.1. Desarrollo

El Objetivo de este capítulo es registrar los resultados obtenidos del registro de datos en Power BI y el uso de IoT Hub a base al desarrollo mediante la investigación analítica por el método estadístico de chi-cuadrado.

3.1.2. Identificación de resultados

Para validar los resultados de la solución de BI desarrollada en este proyecto, se llevó a cabo una encuesta compuesta por ocho preguntas. La encuesta fue aplicada a una muestra de 13 usuarios finales.

Tras la recolección de datos, se realizó un análisis mediante una prueba de chi-cuadrado, con el objetivo de evaluar la relación entre las respuestas obtenidas y determinar la significancia de los hallazgos, permitiendo así validar el impacto y aceptación de la solución propuesta.

Las preguntas se las han hecho binomiales para que los usuarios finales puedan responder si o no, para poder interpretar de una mejor manera los resultados.

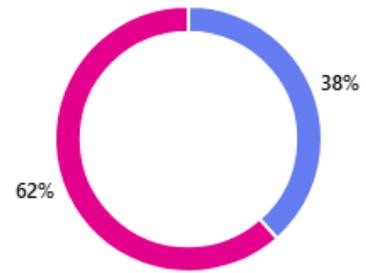
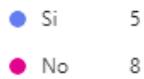
Tabulación de resultados

La encuesta se ha realizado a través de Microsoft Forms, a continuación, se van a detallar las preguntas:

PD1. ¿Considera usted, que se han presentado problemas relacionados al proceso de visualización de datos fisicoquímicos (Luminosidad y Turbidez) en algún proyecto de su área de estudio?

Figura 87.

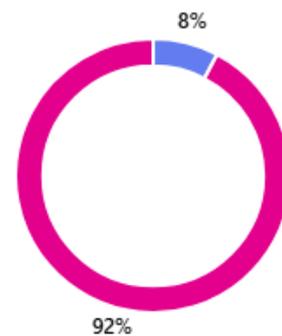
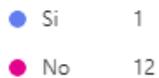
Tabulación Pregunta 1.



PD2. ¿Considera usted, que se han presentado inconsistencias o confusión al momento de realizar un análisis de datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez), sin el uso de herramientas tecnológicas en algún proyecto de su área de estudio?

Figura 88.

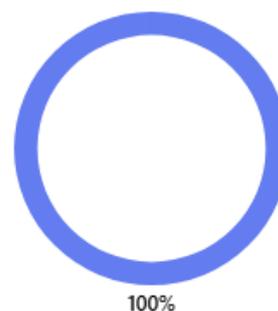
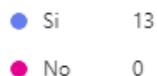
Tabulación Pregunta 2.



PD3. ¿Considera usted, que los datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) recolectados en investigaciones, podrían ser representados de tal manera, que generen mayor valor y una mejor visualización de los mismos?

Figura 89.

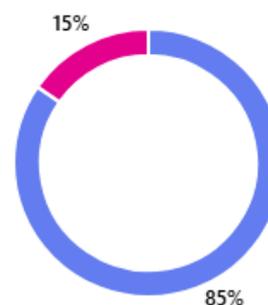
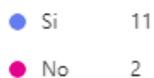
Tabulación Pregunta 3.



PD4. ¿Cree usted, que es necesario aplicar herramientas tecnológicas en el proceso de análisis y visualización de datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) en proyectos de su área de estudio?

Figura 90.

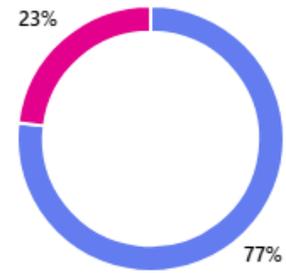
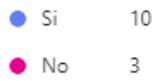
Tabulación Pregunta 4.



PD5. ¿Considera usted, útil implementar una solución de BI sobre los datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) que permita visualizar de forma histórica y en tiempo real los datos recolectados en un biorreactor a escala de laboratorio?

Figura 91.

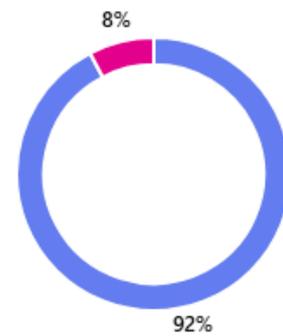
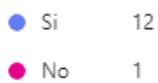
Tabulación Pregunta 5.



PD6. ¿Cree usted, que es necesario implementar una solución de BI que permita fortalecer la visualización de datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) relacionados con microalgas en biorreactores a escala de laboratorio a través de dashboards?

Figura 92.

Tabulación Pregunta 6.

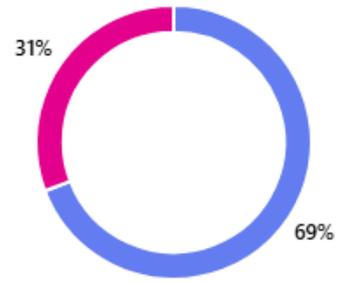


PD7. ¿Considera usted, útil que la solución de BI de datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) en un biorreactor a escala de laboratorio se encuentre disponible en la Web y en dispositivos móvil?

Figura 93.

Tabulación Pregunta 7.

● Si	9
● No	4

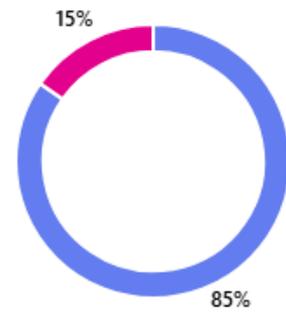


PD8. ¿Estaría usted, dispuesto a usar una solución de BI que permita fortalecer el análisis y visualización de datos fisicoquímicos (luminosidad o turbidez) en un biorreactor a escala de laboratorio?

Figura 94.

Tabulación Pregunta 8.

● Si	11
● No	2



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En el desarrollo de la solución de IoT se pudo fortalecer el análisis de y la visualización de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez en la operación del biorreactor a escala de laboratorio brindado una mayor eficiencia en la revisión de datos y en el cultivo de microorganismos.
- De acuerdo con la revisión de la literatura mediante la metodología SLR se logró identificar el uso de los biorreactores y sus diferentes tipos para el cultivo de microorganismos y como se puede aplicar sensores embebidos para la aplicación de IoT y poder realizar la medición y análisis de los parámetros fisicoquímicos de luminosidad y turbidez.
- En la aplicación de Design Thinking como metodología se pudo involucrar al usuario en algunas de las primeras etapas del proyecto, además de poder llegar lo más pronto posible a un resultado viable.
- La implementación de la solución IoT para el análisis y visualización de los parámetros fisicoquímicos ha permitido reducir significativamente la intervención manual en la medición de datos en el biorreactor. Esto ha mejorado la precisión de los datos recolectados y ha reducido los errores humanos, optimizando la toma de decisiones en el proceso de cultivo de microorganismos.
- La arquitectura desarrollada no solo es aplicable a biorreactores de laboratorio, sino que puede ser adaptada para su uso en entornos industriales con modificaciones mínimas. Esto abre la posibilidad de futuras implementaciones en sectores como la producción de bioinsumos o la biotecnología industrial.
- La automatización del monitoreo de parámetros fisicoquímicos ha disminuido la necesidad de intervención manual en los biorreactores, reduciendo así el riesgo de contaminación de las muestras y mejorando la confiabilidad de los resultados obtenidos en los análisis de microalgas.
- La implementación de IoT y Business Intelligence ha facilitado el almacenamiento estructurado de los datos recolectados, eliminando la duplicidad e inconsistencias en la información. Esto ha permitido una mejor trazabilidad de los experimentos y un análisis más eficiente de las variaciones en las condiciones del biorreactor

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el utilizar el biorreactor en el cual se incorporó los sensores de manera cuidadosa para que no existan problemas a futuro en la medición de datos y su exactitud para verificar el progreso que va teniendo el cultivo de microorganismos.
- Se recomienda generar un escalamiento tecnológico verticalmente agregando sensores de medición adicionales que requiere un biorreactor de manera que se escale hasta lograr automatizar la toma de datos y generar una mayor eficiencia y exactitud para el cultivo de microorganismos.
- Se recomienda explorar la implementación de modelos de machine learning para analizar patrones en los datos recolectados, lo que podría permitir la detección temprana de anomalías y la predicción del comportamiento de los cultivos en función de variables ambientales.
- Aunque el sistema de visualización basado en Power BI ha demostrado ser eficiente, se sugiere el desarrollo de una interfaz web o aplicación móvil que permita a los usuarios acceder a la información en tiempo real de manera más intuitiva y adaptable a diferentes dispositivos.
- Se recomienda integrar sensores adicionales para medir otros parámetros relevantes, como temperatura, pH y niveles de oxígeno disuelto. Esto permitiría un análisis más completo y preciso del comportamiento del cultivo de microorganismos dentro del biorreactor.
- Para evaluar el potencial de escalabilidad, se sugiere realizar pruebas piloto en entornos industriales donde los biorreactores operan a mayor capacidad. Esto permitiría identificar posibles mejoras en la arquitectura del sistema y ajustar su desempeño a condiciones de producción a gran escala.

Referencias

- © Arduino. (2023a, abril 21). *Getting Started with Arduino*. <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/getting-started-arduino>
- © Arduino. (2023b, abril 21). *Overview of the Arduino IDE 1*. Arduino. <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>
- © Microsoft. (2023a). *Azure Stream Analytics | Microsoft Azure*. <https://azure.microsoft.com/es-es/products/stream-analytics/>
- © Microsoft. (2023b). *IoT Hub | Microsoft Azure*. <https://azure.microsoft.com/es-es/products/iot-hub/#overview>
- © The PostgreSQL. (2023). *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*. <https://www.postgresql.org/>
- Albarrán-Zavala, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Am. J. Phys. Educ*, 2(3). <http://www.journal.lapen.org.mx>
- Albay, E. M., & Eisma, D. V. (2021). Performance task assessment supported by the design thinking process: Results from a true experimental research. *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), 100116. <https://doi.org/10.1016/J.SSAHO.2021.100116>
- Arévalo, A. C. R., Llanos, A. I. C., & Flores, J. I. V. (2003). Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo. *Mexican Journal of Biomedical Engineering*, 24(1), 55–70. <http://rmib.com.mx/index.php/rmib/article/view/281>
- Arias Valladolid, J. A. (2018). *Diseño, construcción y validación de un biorreactor a escala de laboratorio con sistema de control automático*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/44431>
- aviNews. (2019, octubre). *Potencial de oxidación- reducción ORP(REDOX), para la Bioseguridad*. Revista aviNews España Octubre 2019. <https://avinews.com/potencial-redox-de-oxidacion-reduccion-orp-para-la-bioseguridad-de-nuestras-granjas/>

- Balcázar Rojas, N. M., & Ramos Yangua, K. J. (2021). EFECTO DE LA LUMINOSIDAD EN LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS [UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO]. En *Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo*. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1618>
- BIOPHARMA. (2020, julio 30). *Biorreactores: el elemento central de los bioprocesos*. <https://klinea.eu/biorreactores-el-elemento-central-de-los-bioprocesos/>
- Bowers, W. G., & Moyer, J. (1920). A PHOTOMETRIC TURBIDIMETER. *Journal of Biological Chemistry*, 42(1), 191–198. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)87166-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)87166-6)
- Caprette, D. R. (2012, agosto 10). *Solutions and dilutions: Working with stock solutions*. <https://www.ruf.rice.edu/~bioslabs/methods/solutions/stocks.htm>
- Carrizo, D., & Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>
- Delgado Trelles, B. S. (2022). *Influencia del fotoperiodo, intensidad y color de luz en la producción de biomasa de spirulina (artrosphira platensis) en biorreactores abiertos* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14907>
- Descubre Arduino. (2023, abril 26). *Arduino Uno R3, Qué es, Características, Precio, Programación*. <https://descubrearduino.com/arduino-uno/>
- Devanny, J. S., Deshusses, M. A., & Webster, T. S. (1998). *Biofiltration for Air Pollution Control* (CRC Press, Ed.). https://books.google.com.ec/books?id=NGluHrIVV_IC&dq=Biofiltration%20for%20air%20pollution%20control&hl=es&lr&source=gbs_book_other_versions
- DFRobot. (2018). *Turbidity sensor SKU SEN0189*. https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189

- Fernández, Y. (2022, septiembre 23). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Xataka. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Garzón, G. E. G., Casallas, O. G., & Díaz, D. M. (2014). Centro de Investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Revista Vínculos*, 11(1), 5–13. <https://doi.org/10.14483/2322939X.8006>
- Gibbons, S. (2016, julio 31). *Design Thinking* 101. <https://www.nngroup.com/articles/design-thinking/>
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. *Microalgae, culture and benefits*. 49, 157–173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Hossain, M. R., Akhter, F., & Sultana, M. M. (2022). SMEs in Covid-19 Crisis and Combating Strategies: A Systematic Literature Review (SLR) and A Case from Emerging Economy. *Operations Research Perspectives*, 9, 100222. <https://doi.org/10.1016/J.ORP.2022.100222>
- Industrias GSL. (2022, enero 30). *Sensor LDR*. <https://industriasmgs.com/blogs/automatizacion/sensor-ldr>
- Kasián, F., & Reyes, N. S. (2012). *Búsquedas por similitud en PostgreSQL*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/23754>
- Lifeder. (2020, julio 13). *Turbidez: unidades, métodos, ejemplos*. Lifer. <https://www.lifeder.com/turbidez/>
- Lizcano Pulido, A. K., Morales Toscano, A. C., Naranjo Lourido, W., & Martínez Baquero, J. E. (2021). Diseño y Simulación de Control de temperatura y pH para el inicio de un biorreactor tipo Batch | *Revista Vínculos. Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 18. <https://geox.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/20193>
- López Hernández, A. (2017). *Presentación de datos OData en Power BI* [Universidad de Almería]. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6619/15592_ProyectoFinal.pdf?sequence=1

- Manuel, C., Díaz, S., Abelardo, L., & Méndez Hernández, A. (2015). Construcción y Validación Experimental de un Biorreactor Artesanal Tipo Tanque Agitado para Fermentaciones Sumergidas a Escala de Laboratorio. *Tecnología Química*, 35(3), 362–375. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- McLean, K. M., Pasulka, A. L., & Bockmon, E. E. (2021). A low-cost, accessible, and high-performing Arduino-based seawater pH control system for biological applications. *HardwareX*, 10, e00247. <https://doi.org/10.1016/J.OHX.2021.E00247>
- Meje, K. C., Bokopane, L., Kusakana, K., & Siti, M. (2021). Real-time power dispatch in a standalone hybrid multisource distributed energy system using an Arduino board. *Energy Reports*, 7, 479–486. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.08.016>
- Niizawa, I. (2015). *Diseño, modelado y optimización de foto-bioreactores destinados al cultivo de microalgas para diferentes aplicaciones tecnológicas* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/878>
- Padilla Sevillano, A. W., & Rivero Méndez, J. F. (2016). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. En *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA* (Vol. 12, Número 1, pp. 29–43). <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1358>
- Rodríguez Chiquiza, J. (2016). *Monitoreo Remoto Vía WEB para las Variables Temperatura, Humedad y Luminosidad*. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5295>
- Ruíz-Leza, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (2007). *DISEÑO DE BIORREACTORES PARA FERMENTACIÓN EN MEDIO SÓLIDO BIO-REACTORS DESING FOR SOLID STATE FERMENTATION*. 6(1), 33–40.
- Sánchez, J. G., Bernabé, N. S., & Bernabé, P. S. (2013). Efecto de la temperatura y luminosidad sobre la estabilidad de las betalainas obtenidas de “betarraga”. *SCIÉENDO*, 13(1–2). <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/248>

Santos, I. R. (2015). *Operación de un biorreactor para la eliminación de contaminantes*. Universidade da Coruña.

Seepsa. (s/f). *Modelos actuales de biorreactores como herramientas en escalado*. Recuperado el 9 de abril de 2023, de <https://www.seepsa.com.mx/blog/equipos/modelos-actuales-de-biorreactores-como-herramientas-en-escalado/>

Steinbeck, R. (2011). Building Creative Competence in Globally Distributed Courses through Design Thinking. *Comunicar*, 19(2), 27–34. <https://doi.org/10.3916/C37-2011-02-02>

THINK LAB. (2021, febrero 23). *¿Cómo saber que no es Design Thinking?* <https://think.cl/como-saber-que-no-es-design-thinking/>

Universidad Veracruzana, F. de C. Q. (s/f). *BIORREACTORES Y SU APLICACIÓN*. Recuperado el 9 de abril de 2023, de <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>

Vidal Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software. *Información tecnológica*, 30(6), 377–386. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>