



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUAR EL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE LA CAPTURA DE
CARBONO MEDIANTE TRES ESPECIES DE ORQUÍDEAS VS UN DISPOSITIVO
ELECTRÓNICO EN LA UPS SEDE CUENCA- ECUADOR

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: STALIN JAVIER GODOY DÍAZ

TUTOR: ING. FREDI LEONIDAS PORTILLA FARFÁN, PhD.

CO-TUTOR: ING. PATRICIO FERNANDO URGILÉS ORTIZ, PhD.

Cuenca"- Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Stalin Javier Godoy Díaz con documento de identificación N° 1104848278,
manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera
total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de febrero del 2023.

Atentamente,



Stalin Javier Godoy Díaz

1104848278

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Stalin Javier Godoy Díaz con documento de identificación N° 1104848278, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluar el cambio climático a través de la captura de carbono mediante tres especies de orquídeas vs un dispositivo electrónico en la UPS sede Cuenca-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023.

Atentamente,



Stalin Javier Godoy Díaz

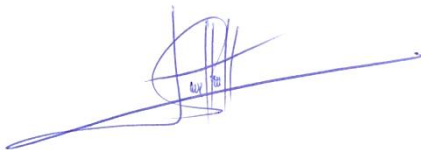
1104848278

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fredi Leonidas Portilla Farfán con documento de identificación N° 0102824331 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUAR EL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE LA CAPTURA DE CARBONO MEDIANTE TRES ESPECIES DE ORQUÍDEAS VS UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO EN LA UPS SEDE CUENCA-ECUADOR, realizado por Stalin Javier Godoy Díaz con documento de identificación N° 1104848278, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher. The signature is written over a horizontal line.

Ing. Fredi Leonidas Portilla Farfán, PhD

0102824331

DEDICATORIA

Este trabajo le dedico a mis padres Bayrón Godoy y Gladys Diaz, por su apoyo incondicional tanto moral como económico, quienes fueron una pieza clave en mi formación como profesional, A mis abuelos Guillermo Godoy y Teresa Camacho por sus palabras de apoyo que me inspiraban a seguir luchando.

A mis hermanos Vanessa Godoy y Jonathan Godoy que siempre estuvieron animándome a seguir, porque son la razón de sentirme tan orgulloso de terminar mi carrera.

A mis tíos, tías y primos por expresarme su afecto y cariño durante toda mi formación, quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer.

A mis compañeros y amigos que durante este proceso me han demostrado su lealtad su solidaridad, y han estado en los momentos más difíciles que tuve que pasar.

A mi pareja Jaqueline Valverde por su apoyo incondicional en la elaboración de mi tesis y por motivarme a seguir adelante y recordarme que todo es posible en la vida, gracias por tus consejos y compañía.

Stalin Javier Godoy Diaz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por ser mi fortaleza y mi guía a lo largo de mi carrera y por darme la fuerza y sabiduría para culminar una meta más.

Agradezco al Dr. Fredi Portilla PhD por ser un excelente tutor, docente y por ser parte esencial en este proceso académico y por todos sus consejos que me impartió a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradezco también al Dr. Fernando Urgirles por su aporte, para que mi proyecto de tesis se vincule a la carrera de mecatrónica y poder obtener una tesis de calidad, de igual manera agradezco al estudiante Ronaldo Jaramillo por su ayuda en la programación y conexión de los sensores.

De manera especial agradezco el apoyo del grupo de investigación INBIAM por su aporte económico para realizar mi tesis.

Agradezco también a cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes me brindaron todos sus conocimientos y sabiduría durante todos estos años universitarios el cual me han servido para formarme con un criterio técnico y profesional.

A mis compañeros y amigos en especial a Joselyn Astudillo, Jessica Amón con quienes hemos compartido momentos llenos de felicidad, tristeza y enojos, pero a pesar de ello siempre hemos estado unidos para poder llegar a ser profesionales.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	16
1.1 Problema de estudio	16
1.2 Justificación	17
1.3 Delimitación de la zona de estudio.....	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
2. Fundamentación teórica.....	20
2.1 Cambio Climático.....	20
2.2 Causas del cambio climático	21
2.3 Marco Institucional a nivel mundial.....	22
2.3.1 Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)	22
2.3.2 Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	22
2.4 Adaptación al cambio climático	23
2.5 Mitigación al cambio climático	24
2.6 Efecto Invernadero	24
2.6.1 Gases de efecto invernadero	25
2.7 Efectos del cambio climático en América Latina.....	25
2.8 Biodiversidad, bosques y cambio climático	25
2.9 La salud y las ciudades	26
2.10 Carbono	26
2.10.1 Dióxido de Carbono	27
2.10.2 Ciclo del Carbono (C).....	27
2.11 Ecosistemas Forestales	28
2.11.1 El carbono en los ecosistemas Forestales	29
2.12 Orquídeas.....	30
2.12.1 Especies usados en el estudio	32
Cymbidium clarisse“Pink Ice”	32
Cymbidium Clarisse “Best Pink”	33
Cymbidium bicolor.....	35
2.13 Relación de orquídeas y el cambio climático	36
2.14 Medidores de CO2.....	37
2.14.1 Sensor Medidor de Carbono (Sensor de CO2 MG-811)	37
2.14.2 Data Logging Shield V1.0	38
2.14.3 Arduino UNO	39
3. Materiales y Métodos	40
3.1 Equipos y Materiales	40

3.2 Delimitación de la zona de estudio.....	41
3.3 Esquema metodológico descriptivo.....	44
3.4 Primera Etapa	45
3.4.1 Selección y descripción de las especies.....	45
3.4.2 Adquisición de Orquídeas y dispositivo electrónico (sensor CO ₂).....	46
3.4.3 Ubicación de las orquídeas y sensores.	47
3.5 Segunda Etapa	50
3.5.1 Muestreo	50
3.5.2 Parámetros ambientales	50
3.5.3 Selección y transporte de la muestra	51
3.5.4 Fase de Laboratorio (Muestra Inicial)	51
3.5.6 Cálculos	52
a. Cálculo de muestreo biomasa	53
b. Cantidad de carbono en biomasa de especie de orquídea.....	53
c. Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de orquídea.....	54
d. Dióxido de carbono fijado	55
4. Resultados.....	55
4.1 Índice del área foliar	55
4.2 Parámetros Ambientales	60
4.3 Concentración de Carbono (C) en las especies de Orquídeas	62
4.3.1 Especies de Orquídeas que componen los cuatro puntos de muestreo.....	62
4.3.2 Datos generales de peso por especie de orquídea en los diferentes puntos de muestreo.	63
4.3.3 Correlación de peso verde y peso seco por especie de orquídea.....	63
4.3.4. Porcentaje de biomasa seca obtenida en las diferentes especies ensayadas .	64
4.3.4 Cantidad de carbono (C) y dióxido de carbono (CO ₂) secuestrado por las diferentes especies de orquídeas.....	66
4.3.5 Correlación entre los resultados totales de biomasa, carbono y dióxido de carbono	68
4.4 Concentración de Dióxido de Carbono (CO ₂) registrado en los Sensores	70
4.4.1 Concentración CO ₂ punto 1 Guillermo Mensi.....	70
4.4.1.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.....	71
4.4.1.2 Prueba post hoc.....	73
4.4.2 Concentración de CO ₂ punto 2 Cornelio Merchán	74
4.4.2.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.....	74
4.4.2.2 Prueba post hoc.....	76
4.4.3 Concentración de CO ₂ punto 3 Biblioteca.....	77
4.4.3.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.....	78
4.4.3.2 Prueba post hoc.....	80
4.4.4 Concentración de CO ₂ punto 4 Juan Bottasso	81
4.4.4.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.....	82
4.4.4.2 Prueba post hoc.....	84
4.5 Análisis entre edificios	84

4.6 Inferencia de las especies	88
4.7 Propuesta	89
5. Discusión	96
6. Conclusiones.....	98
7. Recomendaciones	99
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
9. ANEXOS	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo del Carbono	28
Ilustración 2. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.....	29
Ilustración 3. Variedad de orquídeas.....	31
Ilustración 4. Hojas y pseudobulbos de las orquídeas.	31
Ilustración 5. Orquídea Cymbidium clarisse Pink Ice.	32
Ilustración 6. Orquídea Cymbidium Clarisse Best Pink.	34
Ilustración 7. Orquídea Cymbidium Bicolor	35
Ilustración 8. Sensor de CO2 MG811 Dióxido de Carbono	38
Ilustración 9. Data Logging Shield V1.0.	39
Ilustración 10. Tarjeta Arduino UNO y cable.....	40
Ilustración 11. Ubicación geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca – Ecuador.....	42
Ilustración 12. PUNTO 1: Edificio Guillermo Mensi.....	42
Ilustración 13. PUNTO 2: Edificio Cornelio Merchán	43
Ilustración 14. PUNTO 3: Edificio Biblioteca.....	43
Ilustración 15. PUNTO 4: Edificio Juan Bottasso	44
Ilustración 16. Esquema metodológico del proyecto	44
Ilustración 17. Empresa proveedora de orquídeas en la ciudad de Cuenca.	47
Ilustración 18. Colocación de las orquídeas en el Punto 1.....	48
Ilustración 19. Ubicación de las orquídeas en el Punto 2	48
Ilustración 20. Ubicación de las orquídeas en el Punto 3	49
Ilustración 21. Colocación de orquídeas en el Punto 4.....	49
Ilustración 22. Colocación de los sensores de CO2 en los puntos de muestreo.	50
Ilustración 23. Muestras verdes separadas y etiquetadas.	51
Ilustración 24. Secado de las muestras.	52
Ilustración 25. Gráfica de IAF de las orquídeas en el edificio Guillermo Mensi (Punto 1).....	56
Ilustración 26. Gráfica del IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Cornelio Merchán (Punto 2).....	57
Ilustración 27. Gráfica de incremento del IAF ubicadas en el edificio de la Biblioteca (punto 3).	58
Ilustración 28. Gráfica de incremento del IAF ubicada en el edificio Juan Bottasso (Punto 4).	59
Ilustración 29. Representación gráfica de la variación de los parámetros ambientales del área de estudio.	61
Ilustración 30. Relación peso verde y peso seco por especie de Orquídea.....	63
Ilustración 31. Correlación peso verde y peso seco por punto de muestreo.	64
Ilustración 32. Porcentaje de biomasa seca obtenida en las diferentes especies ensayadas	66
Ilustración 33. Cantidad de carbono (C) secuestrado por las diferentes especies de orquídeas.....	67
Ilustración 34. Cantidad de CO2 capturado por especie de orquídea.	68

Ilustración 35. Relación entre % Biomasa, C y CO2.....	69
Ilustración 36. Comparación gráfica de Biomasa, C y CO2 obtenidos.	70
Ilustración 37. Prueba de normalidad y homogeneidad en el punto 1 Guillermo Mensi	71
Ilustración 38. Concentración de CO2 (ppm) en el punto 1 Guillermo Mensi.....	72
Ilustración 39. Prueba de normalidad y homogeneidad punto 2 Cornelio Merchan.....	74
Ilustración 40. Concentración de CO2 (ppm) punto 2 Cornelio Merchan.....	76
Ilustración 41. Pruebas de normalidad y homogeneidad en el punto 4 Juan Bottasso .	82
Ilustración 42. Concentración de CO2 (ppm) en el punto 4 Juan Bottasso	83
Ilustración 43. Pruebas de Normalidad y Homogeneidad para todos los puntos de muestreo.	85
Ilustración 44. Concentración de CO2 (ppm) para los 4 puntos de muestreo.	87
Ilustración 45. Modelo de micro invernadero de orquídeas.	90
Ilustración 46. Vista panorámica de los edificios a implementar la propuesta.....	90
Ilustración 47. Vista panorámica del edificio a implementar la propuesta.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la Orquídea <i>Cymbidium clarisse</i> Pink Ice.	33
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la Orquídea <i>Cymbidium clarisse</i> Best Pink.	34
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la Orquídea <i>Cymbidium Bicolor</i>	35
Tabla 4. Materiales y Equipos para el campo.	40
Tabla 5. Materiales y equipos de la fase del laboratorio.	41
Tabla 6. IAF de las orquídeas ubicadas en el Edificio Guillermo Mensi (Punto 1).....	55
Tabla 7. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Cornelio Merchán (Punto 2).....	57
Tabla 8. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Biblioteca (Punto 3).....	58
Tabla 9. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Juan Bottasso (Punto 4).	59
Tabla 10. Valores promedio de los parámetros ambientales registrados en el área de estudio.....	60
Tabla 11. Número de especies de Orquídeas analizadas.	62
Tabla 12. Porcentaje de biomasa seca de las distintas especies por punto de muestreo.65	
Tabla 13. Cálculos estadísticos de la media, mediana y desviación estándar en el punto 1 Guillermo Mensi.....	70
Tabla 14. Prueba de Shapiro-Wilk normality test en el punto 1 Guillermo Mensi	71
Tabla 15. Prueba post hoc para el punto 1 Guillermo Mensi	73
Tabla 16. Cálculos estadísticos como la media, mediana y desviación estándar en el punto 2: Cornelio Merchán.....	74
Tabla 17. Prueba Shapiro-Wilk Normality test punto 2 Cornelio Merchan.....	75
Tabla 18. Prueba post hoc en el punto 2 Cornelio Merchan.....	77
Tabla 19. Cálculos estadísticos de la media, mediana y desviación estándar en el punto 3: Biblioteca.....	77
Tabla 20. Prueba Shapiro-Wilk Normality test punto 3 Biblioteca.....	78
Tabla 21. Prueba Post hoc de valores obtenidos en el punto 3: Biblioteca	80
Tabla 22. Cálculos estadísticos como la media, mediana y desviación estándar en el punto 4 Juan Bottasso	81
Tabla 23. Prueba Shapiro-Wilk normality test en el punto 4 Juan Bottasso	82
Tabla 24. Prueba post hoc para el punto 4 Juan Bottasso.....	84
Tabla 25. Calculo estadísticos de la media, mediana y desviación estándar entre los puntos de muestreo de 6hoo a 21hoo.....	85
Tabla 26. Prueba Shapiro-Wilk normality test entre todos los puntos de muestreo.....	86
Tabla 27. Prueba post hoc de los 4 puntos de muestreo.	87
Tabla 28. Implementación de un micro invernadero de orquídeas en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana	92
Tabla 29. Propuesta de Implementación de sensores medidores de CO2 en los espacios interiores de la Universidad Politécnica Salesiana.	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos (Tabla de valores de Pesos y porcentaje de Biomasa).....	106
Anexo 2. Cantidad total de C y CO ₂ en cada especie de Orquídea	106
Anexo 3. Cantidad de C en cada especie de orquídea y Cantidad de C por punto de muestreo.	106
Anexo 4. Cantidad de CO ₂ en cada especie de orquídea y cantidad de CO ₂ en cada punto de muestreo.....	107
Anexo 5. Fase de Campo; Adecuación del área de estudio e instalación eléctrica.....	107
Anexo 6. Colocación de orquídeas y sensor en los 4 puntos de muestreo.	108
Anexo 7. Toma de datos semanales de las especies de orquídeas y de los sensores	109
Anexo 8. Toma de Muestras de las especies en estudio debidamente etiquetadas	109
Anexo 9. Secado de todas las muestras (Peso Verde) en una estufa a una temperatura de 70°C.....	110
Anexo 10. Pesado de las muestras secas(Peso seco) de todos los puntos de muestreo.	110

RESUMEN

La presente investigación tiene la finalidad de evaluar el cambio climático a través de la captura de carbono mediante tres especies de orquídeas y un dispositivo electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, para lo cual se utilizó metodológicamente la ecuación de Rüginitz, para determinar la cantidad de carbono presente en la biomasa de tres especies de orquídeas (*Cymbidium clarisse* “*Pink Ice*”, *Cymbidium clarisse* “*Best Pink*”, y *Cymbidium bicolor*); y, mediante pruebas de normalidad y homogeneidad se registró los niveles de concentración de CO₂ usando un dispositivo electrónico (sensor de CO₂ MG811 Dióxido de Carbono). Las orquídeas y el sensor se colocaron en cuatro edificios (*Guillermo Mensi*, *Cornelio Merchán*, *Biblioteca* y *Juan Bottasso*), durante un periodo de 8 semanas. El análisis estadístico indica que en todos los puntos de muestreo (edificios) el rango de concentración total de carbono en la biomasa de las orquídeas esta entre 2.014 kg C y 2, 097 kg C y en lo que refiere al del sensor los niveles de concentración de CO₂ comprenden entre 211,87 y 374,26 ppm. Asimismo, la cantidad de CO₂ capturada por las orquídeas fue de 7,51 kg, 7,39,1 Kg, 7,541 Kg y 7,696 Kg respectivamente. En conclusión, este experimento aporta datos que validan a las orquídeas como indicadoras del cambio climático mediante la captura del carbono; sin embargo, la tecnología de los sensores implementados es de mayor precisión frente a la medición de CO₂ realizado.

Palabras Claves: Orquídeas, sensores de CO₂, carbono, atmósfera, cambio climático.

ABSTRACT

The present investigation has the purpose of "Evaluating climate change through carbon capture through three species of orchids and an electronic device at the Salesian Polytechnic University of Cuenca", for which the Rügnitz equation was used methodologically, to determine the amount of carbon present in the biomass of three orchid species (Cymbidium "Pink Ice", Cymbidium Clarisse "Best Pink", and Cymbidium bicolor); and, through normality and homogeneity tests, the CO₂ concentration levels were recorded using an electronic device (CO₂ sensor MG811 Carbon Dioxide). The orchids and the sensor were placed in 4 buildings (Guillermo Mensi, Cornelio Merchán, Library and Juan Bottasso) of the Salesian Polytechnic University, Cuenca, for a period of 8 weeks. The statistical analysis indicated that in all the sampling points (buildings) the range of total carbon concentration in the biomass of the orchids is between 2,014 kg C and 2,097 kg C and in what refers to the sensor the concentration levels of CO₂ comprise between 211.87 and 374.26 ppm. Likewise, the amount of CO₂ captured by the orchids was 7.51 kg, 7.39.1 Kg, 7.541 Kg and 7.696 Kg respectively. In conclusion, this experiment provides data that validates orchids as indicators of climate change through carbon capture; however, the technology of the implemented sensors is more precise compared to the CO₂ measurement made in orchids.

Key words: Orchids, CO₂ sensors, carbon, atmosphere, climate change.

1. Introducción

1.1 Problema de estudio

En los últimos 2 siglos, la población ha tenido un incremento importante y por lo tanto los niveles de consumo personal aumenta la demanda global de varios recursos, lo que implica impactos globales sobre el planeta, uno de ellos es el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que ha provocado un calentamiento inusual en los últimos años (Barros, 2005). Entre las actividades que más generan GEI se ubica el sector industrial, aumentando la concentración principalmente del Dióxido de Carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (NO₂), siendo el CO₂, el gas de efecto invernadero más importante (Arévalo Moscoso, 2018).

Según (Sánchez-R & Riosmena, 2021), la alteración de la composición química de la atmósfera por los GEI ha generado el incremento de la temperatura en la tierra y el mar circundantes tiene varios efectos importantes en el sistema climático; es decir, ha aumentado su variabilidad y, con ella, la frecuencia e intensidad de diversos extremos ambientales, como huracanes, inundaciones, sequías e incendios forestales. Además, el calentamiento global ha provocado (y seguirá haciéndolo) la decoloración de los arrecifes de coral y cambios en la distribución de nutrientes y aumento en el nivel del mar, lo que genera como consecuencia la erosión de las costas, inundaciones de territorios, e instrucción de agua salina en suelos y mantos acuíferos (Bárcena, Samaniego, Pérez, & Alatorre, 2020).

Aunque el CO₂ se puede recolectar y almacenar en nuestro planeta a través de una serie de mecanismos, la vegetación juega un papel principal en el secuestro de carbono atmosférico a través de su proceso de fotosíntesis, así como en el ciclo del carbono del

suelo, lo que reduce las concentraciones de CO₂ en la Tierra. (Dilas, Josué; Huamán, 2020).

En este contexto, se hace referencia a las orquídeas ya que son elementos fundamentales en la dinámica y composición de los ecosistemas. Estas plantas forman la interfaz entre el bosque y la atmósfera y dependen de los nutrientes del aire, la lluvia y el vapor de agua para sobrevivir. Esta dependencia fisiológica relacionada con el clima los hace sensibles a los cambios atmosféricos y de temperatura, lo que los hace ideales para la investigación del cambio climático. (Rubiano, 2013).

Ecuador fue declarado “País de las Orquídeas” por el Ministerio de Turismo en 2014 debido a que cuenta con las características geográficas y biofísicas necesarias para el crecimiento de esta planta, que se desarrolla en ecosistemas de diferentes climas. Hay 4032 especies, de las cuales 1724 son endémicas y unas 400 están en estudio y descripción.

En referencia a aquello se realiza este análisis que comprende en estudiar la capacidad de captura de carbono por estas especies y adicionarles un valor tanto ambiental como económico ante la sociedad.

1.2 Justificación

Según (Díaz Cordero, 2012), el cambio climático es un tema obligado de tratar en la agenda de cualquier gobierno de turno, llegando a ser una de las mega tendencias de la sociedad posmoderna, debido a que la degradación del medio ambiente es una bomba de tiempo que debe ser neutralizada de carácter urgente, estas medidas deben comenzar con una educación al respecto y una voluntad política.

La tierra es la base principal para el sustento y el bienestar humanos, incluidos los suministros de agua dulce y muchos otros servicios ecosistémicos. Las actividades humanas afectan directamente a más del 70% de la superficie terrestre libre de hielo del mundo, convirtiéndose en fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la gestión sostenible de la tierra puede ayudar a reducir los impactos negativos de varios factores de estrés, incluido el cambio climático, en los ecosistemas y los ecosistemas. Lo cual afecta para la comunidad. (IPCC, 2020).

Como lo menciona (Oña, 2020), Varias regiones del mundo han sido identificadas como endémicas de orquídeas, entre ellas: Ecuador, Colombia, Madagascar, Guyana, Nueva Guinea y la costa de Brasil. Ecuador es un país biodiverso con el 15,8% de las especies de orquídeas del mundo, por delante de Colombia y Brasil con el 14% y 10% respectivamente.

La compensación de emisiones a través de la captura de carbono radica en utilizar tecnologías y acciones que atrapen CO₂ del aire y lo vuelvan a encerrar, de manera similar a como estaba antes de que se quemase en forma de combustible fósil. Una de las maneras de enterrar el CO₂ es mediante las plantas sin embargo diferentes estudios señalan que reforestar no es suficiente para contrarrestar las emisiones, por lo que se propone nuevas alternativas de secuestro de carbono, eficientes, sostenibles y económicas para asistir sobre todo en aquellas zonas de difícil descarbonización (Parada, 2017).

Dado este contexto, en este estudio, se tiene como objetivo determinar la cantidad de carbono capturado por tres especies de orquídeas (*Cymbidium*), las cuales estarán ubicadas en las edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que es una zona que está expuesta a la emisión de CO₂ procedente tanto del parque industrial, aeropuerto, terminal terrestre y del intenso tráfico vehicular de la avenida de las Américas, además dicha información se comparará con datos obtenidos de un dispositivo electrónico

(sensor) el cual tiene la función de medir el carbono presente en espacios abiertos. Estos resultados pueden ser útiles como importante referencia para la toma de decisiones y planificación de la conservación frente al cambio climático de los gobiernos locales en la zona de estudio y para las políticas públicas del cantón Cuenca.

1.3 Delimitación de la zona de estudio.

El proyecto se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana que está ubicado en la ciudad de Cuenca, con coordenadas Zona 17 M 723482.00 m E y 9680812.00 m S, localizado en la zona meridional de la cordillera de los andes ecuatorianos, su altitud está entre los 2350 a los 2400 msnm y tiene una temperatura promedio anual de 14 y 19 grados centígrados (Cuenca, 2015).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar el cambio climático a través de la captura de carbono mediante tres especies de orquídeas (*Cymbidium*) y un dispositivo electrónico en la universidad politécnica salesiana sede Cuenca-Ecuador

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la captura de carbono mediante tres especies de orquídeas como: *Cymbidium clarisse* “*Pink Ice*”, *Cymbidium Clarisse* “*Best Pink*”, y *Cymbidium bicolor*).
- Determinar la cantidad de dióxido de carbono registrado en el dispositivo electrónico (sensor de CO2 MG811 Dióxido de Carbono) vs la cantidad capturada por las especies de orquídeas.

- Inferir el aporte de las especies ensayadas en el cambio climático a través de la captura de carbono.
- Elaborar una propuesta de implementación para la UPS sede cuenca utilizando orquídeas como indicadoras del cambio climático y el dispositivo electrónico como medidor de la captura de carbono.

2. Fundamentación teórica

2.1 Cambio Climático

Según hace mención (Gaudiano & Cartea, 2020) en su artículo, el cambio climático es un fenómeno global de gran interés científico, político, social y mediático debido que sus repercusiones afectan y alteran absolutamente todas las actividades de la humanidad a nivel global. Además de interrumpir el funcionamiento de la biosfera y la integridad de los ecosistemas con varios impactos en el soporte fundamental de los ciclos biogeoquímicos.

La convención de Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como una modificación del clima producido de manera directa o indirecta de las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera esto se suma a la variabilidad natural del clima durante diferentes periodos de tiempo (Díaz Cordero, 2012).

El cuarto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático IPCC, define el cambio climático, como aquella modificación en el estado del clima que se puede identificar, mediante un cambio en el valor medio y en la variación de sus propiedades durante un tiempo prolongado de tiempo (Gerard, 2009).

A finales del siglo XVII el hombre empezó hacer uso de los combustibles fósiles, mediante la quema de petróleo, carbón y gas natural que están causando un aumento del CO₂ en la atmósfera y por ende se evidencia altas temperaturas. Desde que el hombre mide la temperatura hace 150 años, esta ha aumentado de 0,5 °C y se pronostica un aumento de 1 °C en el 2020 y de 2°C en el 2050 (Alvarado, 2016).

2.2 Causas del cambio climático

El análisis de las causas del cambio climático se debe considerar en primer lugar los gases de efecto invernadero (GEI), que son los responsables de muchos sucesos medioambientales que van desde la emisión de estos, el potencial aumento de concentración en la atmósfera que desencadenan una serie de consecuencias en forma de respuesta climática, tanto en los distintos ecosistemas como en la salud del hombre. La actividad humana es la principal causa del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, incluidos el dióxido de carbono, el vapor de agua, los óxidos de nitrógeno y los productos halógenos.

Además, las actividades agrícolas, ganaderas, explotación de la selva y los cambios en las radiaciones solares amplían los impactos en el sistema climático. Todos los mencionados además de ser principales generadores de cambio climático condicionan la absorción, la dispersión y las emisiones de radiación de la atmósfera y corteza terrestre produciéndose alteración de los balances energéticos del sistema climático (Useros, 2013).

Las causas se dividen en dos categorías:

- Causas Naturales: actividad volcánica o cambios en la energía solar directa, entre otros.

- Causas antrópicas: son generadas por el hombre como la quema de combustibles fósiles, deforestación, entre otros.

La actividad antrópica desde la era industrial ha influido directamente sobre la emisión de CO₂ y otros gases que generan el efecto invernadero natural (Alvarado, 2016).

2.3 Marco Institucional a nivel mundial

Con el fin de poner atención al cambio climático y a los diversos conflictos que esto conlleva se ha establecido a nivel de las Naciones Unidas una estructura de negociación, coordinación e información cuyos dos foros principales son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

2.3.1 Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)

Este panel se estableció en el año de 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El IPCC es el órgano de las Naciones Unidas que tiene el objetivo de evaluar los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos relacionados al cambio climático en el mundo, en base a un análisis exhaustivo, objetivo y transparente (IPCC, 2014b).

En su primer informe de Evaluación el IPCC realizado en el año 1990 da a conocer los resultados científicos que generan preocupación en lo que refiere al cambio climático y provoca que a través de la Asamblea General de las Naciones Unidas se cree la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual ha sido suscrita por 193 estados, incluyendo Ecuador (IPCC, 2017).

2.3.2 Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

El objetivo del acuerdo es estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema

climático, teniendo en cuenta que este nivel debe alcanzarse en un período de tiempo suficiente para la adaptación natural de ecosistemas combatir el cambio climático, garantizar que la producción de alimentos no se vea comprometida y, lo que es más importante, sostener la economía (ONU, 2013).

Tomando en cuenta los informes presentados por el IPCC la CMNUCC ha desarrollado dos principales ejes estratégicos con el propósito de contrarrestar los desafíos de un clima cambiante: mitigación y adaptación (ONU, 2021).

2.4 Adaptación al cambio climático

El IPCC define la adaptación al cambio climático como “Un proceso de ajuste al clima y sus efectos actuales o esperados. En sistemas humanos, esta medida busca moderar o evitar impactos negativos o aprovechar los efectos beneficiosos. En algunos sistemas naturales, intervenciones del hombre podrían facilitar los ajustes al clima y sus efectos esperados” (IPCC, 2014a).

Según hace mención (Magrin, 2015) Las necesidades de adaptación surgen cuando los impactos observados del cambio climático o los riesgos previstos requieren medidas para proteger a las personas y sus bienes, incluidos los ecosistemas y los servicios, es por ello que para identificar las necesidades y opciones de adaptación es fundamental contar con la información apropiada sobre el riesgo y vulnerabilidad, de ahí la importancia de los informes por parte del IPCC.

A este ritmo es probable que para el año 2050 vivamos escenarios alarmantes como aumento significativo de temperatura, precipitación más errática y mayor presencia de plagas y enfermedades (Lau, Jarvis, & Ramirez, 2013) por tanto, es necesario generar una respuesta para solventar las diversas implicaciones socioeconómicas de estos cambios, buscando generar un proceso de adaptación a estas nuevas condiciones con el

fin de disminuir su vulnerabilidad, a través de la inversión en evaluaciones regionales, investigación y desarrollo, y transferencia de tecnología acompañada de la capacitación de su uso (Bustos & Vicuña, 2016).

2.5 Mitigación al cambio climático

Hace referencia a los cambios y reemplazos tecnológicos que buscan minimizar el consumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Pese de existir múltiples políticas sociales, económicas y tecnológicas, la mitigación referida al cambio climático tiene como propósito reducir la presencia de GEI y potenciar los sumideros de Carbono (Ministerio del Ambiente, 2010), considerando que no existe un desarrollo suficiente de técnicas de secuestro de carbono en el subsuelo, la alternativa más estudiada es la forestal, en la que tiene una importante incidencia las especies vegetales empleadas (Ezquiaga Domínguez, 2010).

2.6 Efecto Invernadero

Según lo explica (CEPSA, 2015), El efecto invernadero es el proceso por el cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes e irradiada en todas las direcciones. La emisión constante de estos gases hace que la superficie de la Tierra se caliente a medida que se absorbe más radiación de la que se devuelve.

Es necesario considerar que si no existiera el efecto invernadero que aporta al planeta con 0,03% de CO₂, tendríamos una temperatura promedio de -15°C (bajo cero), a diferencia de los 15°C que es la temperatura media del planeta. En este contexto es evidente que la composición de la atmósfera afecta de manera significativa al clima; mientras más gases de efecto invernadero como el CO₂ se encuentren en la atmósfera terrestre mayor será la

temperatura global del planeta y mientras menos exista más fría será la Tierra (Vélez, 2015).

2.6.1 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero tienen vidas bastante largas en la atmósfera, que van desde los 15 años del metano hasta los 120 años del óxido nitroso. En cuanto al dióxido de carbono, se estima que permanece en la atmósfera entre 100 y 150 años. Esta duración prolongada genera un efecto acumulativo de emisiones que, combinado con el retraso en el ajuste de la temperatura del sistema climático a las nuevas concentraciones de gases de efecto invernadero, hace que los efectos máximos del fenómeno no se sientan hasta décadas después (Barros, 2005).

2.7 Efectos del cambio climático en América Latina

En las últimas décadas, el planeta tierra se ha calentado, debido a una de las poblaciones más grandes que se acentúa en el planeta tierra, la especie humana y su uso que esta especie hace de los recursos y de la energía en sus actividades como el transporte o la industria siguen creciendo exponencialmente, como resultado de estas actividades se siguen produciendo una serie de cambios de carácter global el cual afecta a todos los organismos y ecosistemas (Josep Peñuelas, Santi Sabaté, 2004).

2.8 Biodiversidad, bosques y cambio climático

En América Latina y el Caribe, 5 de los 20 países del mundo con las especies más amenazadas (Brasil, Colombia, Ecuador, México y Perú) y 7 de los 20 países con la flora más amenazada (Brasil, Colombia, Cuba, Jamaica, México, Panamá y Perú), lo que significa que la biodiversidad en la región ya es frágil y está amenazada por varios factores, incluidos los efectos del cambio climático. (Bárcena et al., 2020).

En este contexto, se confirma Las condiciones ambientales cambian en poco tiempo y amenazan la supervivencia de los ecosistemas y las especies, por lo que la forma de vida de la sociedad depende de esas condiciones (Conde & Saldaña, 2007). En años futuros es probable que las plagas amplíen su territorio, y los procesos de degradación de los suelos se incrementen (Rodríguez De Luque et al., 2016).

2.9 La salud y las ciudades

El 80% de la energía que se produce a nivel mundial es consumida en las ciudades y el 70% de las GEI es emitida por las diferentes actividades que se realizan en ellas. Hoy en día América Latina y el Caribe tiene el 80% de la población asentada en las ciudades. Desde el punto de vista económico sin duda el impacto de este crecimiento ha sido favorable, sin embargo, la urbanización también ha traído consigo impactos negativos como la contaminación de la atmósfera, agua, suelo, problemas de salud que desgastan las bases de sustentación del dinamismo económico (Bárcena et al., 2020).

(Conde, Pabón, & Sánchez, 2013), reconoce la importancia de que la mayoría de las áreas urbanas de América latina y El Caribe enfrenta serios problemas de desarrollo con escasos recursos humanos, económicos, técnicos y económico para solucionarlos porque tienen más interés, a comparación del cambio climático que es un problema a largo plazo por tanto recibe menos atención.

2.10 Carbono

El carbono (C) es el elemento químico central en los compuestos orgánicos de la naturaleza y es un elemento que circula entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, formando depósitos o almacenamiento de carbono. El intercambio de carbono entre depósitos terrestre y atmosférico se da como consecuencia de los procesos naturales

como la fotosíntesis y la respiración, así como también la emisión de gases de origen antrópico (González, 2014).

2.10.1 Dióxido de Carbono

El dióxido de Carbono (CO₂), tiene características inodoras e incoloras. Está constituido por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno unidos por enlaces covalentes, es generado en los procesos de fermentación, respiración y combustión; el CO₂ actúa como un gran termostato al imposibilitar la fuga total de la radiación solar que índice en la Tierra, y de esta manera regula la temperatura. Sin embargo, el aumento de este gas en la atmósfera provoca la desestabilización de estos sistemas y hoy en día está relacionado con el calentamiento global de todo el planeta (Arroyo & Ramírez Monroy, 2020).

Las emisiones de CO₂ se originan en su mayoría en la combustión de hidrocarburos fósiles, por lo que ha sido evidente su crecimiento exponencial desde el comienzo de la era industrial, sumando a esto las causas de la deforestación. La biosfera, los océanos y los suelos en sus procesos naturales captan parte del dióxido de carbono, pero gran parte es acumulada en la atmósfera provocando un aumento de la concentración de aproximadamente 30% en los últimos 150 años (Barros, 2005).

2.10.2 Ciclo del Carbono (C)

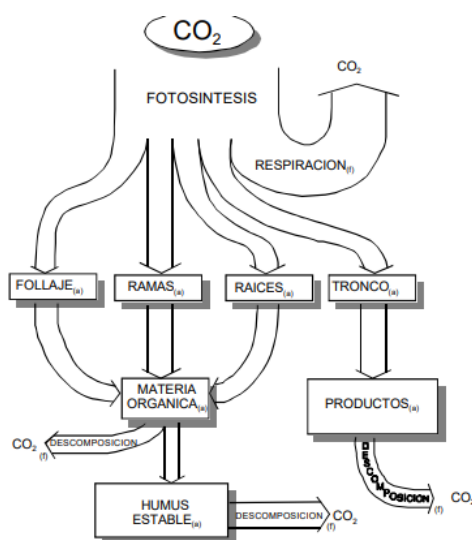
El ciclo del carbono inicia con la fijación del CO₂ atmosférico a través de la fotosíntesis que llevan a cabo las plantas y algunos microorganismos. Durante este proceso, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno que va a la atmósfera. Una parte de estos carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el CO₂ que se forma, se libera mediante de sus hojas o de sus raíces (Burbano, 2018).

2.11.1 El carbono en los ecosistemas Forestales

Los bosques influyen directamente en el ciclo natural del carbono al captarlo mediante la fotosíntesis y lo almacenan con rapidez convirtiéndolo en biomasa, al mismo tiempo liberan CO₂ mediante la respiración y en el proceso de descomposición de plantas (ver Ilustración 2). Por esta razón, los bosques son importantes sumideros de Carbono (Ordóñez, J. A. B., & Masera, 2001).

Cuantificar la biomasa y el crecimiento de la vegetación es fundamental para estimar la fijación del carbono, lo cual actualmente es un tema relevante en los estudios de mitigación del cambio climático (Fonseca-González, 2017).

Ilustración 2. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal



Fuente. (Ordóñez, J. A. B., & Masera, 2001).

Una de las especies más relevantes en los ecosistemas son las orquídeas. Se estima que existen 19.000 especies en el mundo distribuidos en los diferentes tipos de bosques, estas plantas se encuentran en la zona intermedia entre el bosque y la atmósfera por lo que son dependientes de fuentes aéreas de nutrientes, de la lluvia y vapor de agua para sobrevivir

y reproducirse, esta es la razón por la que son ideales para estudiar el cambio climático a través de ellas (Rubiano, 2013).

Ecuador está considerado como el país con la mayor diversidad de orquídeas a nivel mundial, esta gran biodiversidad se debe a la ubicación geográfica ecuatorial y a las abruptas montañas de los Andes, obteniendo así un mosaico de microclimas generando diversidad de ecosistemas naturales (Jiménez León, 2014).

2.12 Orquídeas

Estas plantas son parte de la familia botánica *Orchidaceae* y se encuentran presentes en casi todas las regiones del mundo, pero en su mayoría en los países como Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador y Panamá. Estas especies que habitan en regiones tropicales son epífitas, es decir se desarrollan sobre los árboles sin necesidad de utilizar los recursos de estos, simplemente los utilizan como soporte mecánico (Cox Tamay, Ruiz Cruz, Pérez García, 2020).

Este tipo de planta se caracteriza principalmente por la belleza en sus flores (ver ilustración 3), las cuales por lo general son hermafroditas. Sus hojas son simples con márgenes enteros que en la mayoría de los casos se presentan en forma alargada y gruesa además poseen pseudobulbos (ver ilustración 6), con el fin de retener agua y presentar la transpiración (Oña, 2020).

Ilustración 3. Variedad de orquídeas

Fuente:(Gutiérrez, Navarrete, Espín, 2014).

Las orquídeas se clasifican en dos grupos: epífitas y terrestres. Las epífitas crecen en otras plantas, obtienen humedad y nutrientes de los desechos vegetales, la atmósfera, el musgo, y la corteza por absorción, por otra parte, las terrestres están enraizadas en la superficie. (Vílchez Oscoco, 2020). Estas especies tienen una gran importancia a nivel ecológico, debido a su simbiosis con hongos micorrícicos, interacción con polinizadores, además cumplen con la función de regulación hídrica (Fonseca-González, 2017).

Ilustración 4. Hojas y pseudobulbos de las orquídeas.

Fuente:(Bonilla, 2019).

2.12.1 Especies usados en el estudio

Cymbidium clarisse “Pink Ice”

Es una de las orquídeas que no requiere de mucho cuidado, posee flores bastante duraderas (ver Ilustración 5), sus hojas surgen de una especie de bulbos redondeados que desarrollan brotes anualmente. Esta especie se desarrolla entre un rango de temperatura óptima de 15°C a 18°C. Sin embargo, pueden tolerar temperaturas nocturnas de hasta 10°C en los meses fríos y hasta 30° C en los meses cálidos siempre y cuando no sea muy prolongado (Acosta, 2020).

Ilustración 5. Orquídea *Cymbidium clarisse* Pink Ice.



Fuente: (Hoffman, 2019)

En la siguiente tabla se presenta la clasificación taxonómica de la orquídea *Cymbidium clarisse Pink Ice*:

Tabla 1. *Taxonomía de la Orquídea Cymbidium clarisse Pink Ice.*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Mognoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Lliidae
Orden	Asparagales
Familia	Orchidaceae
Subfamilia	Epidendroideae
Género	Cymbidium
Especie	Pink Ice

Fuente:(Hoffman, 2019)

Cymbidium Clarisse “Best Pink”

Estas especies se desarrollan en climas fríos y lugares elevados, pueden resistir temperaturas entre 10 y 30°C. Una característica propia es que estas plantas tienden a desarrollar más hojas que la mayoría de las orquídeas y necesitan ser plantadas en un recipiente que contenga bien la planta, ya que permanecerá 3 a 4 años en la misma maceta, incluso más si los pseudobulbos no desbordan el bote (Juárez, 2013).

Ilustración 6. Orquídea *Cymbidium Clarisse Best Pink*.



Fuente:(*Hoffman, 2019*)

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de la Orquídea *Cymbidium Clarisse Best Pink*:

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la Orquídea *Cymbidium clarisse Best Pink*.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Mognoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Lliidae
Orden	Asparagales
Familia	Orchidaceae
Subfamilia	Epidendroideae
Género	<i>Cymbidium</i>
Especie	<i>Clarisse Best Pink</i>

Fuente:(*Hoffman, 2019*).

Cymbidium bicolor

Sus racimos de hojas suelen desarrollarse hasta una altura de 60 cm. Durante la floración, recoge los tallos en racimos, cuya altura puede superar con creces los 90 cm. El rango de temperatura ideal es entre 12 y 22°C (Juárez, 2013).

Ilustración 7. Orquídea *Cymbidium Bicolor*



Fuente:(Juárez, 2013)

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de la Orquídea *Cymbidium bicolor*:

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la Orquídea *Cymbidium Bicolor*

<i>Taxonomía</i>	
<i>Reino</i>	Plantae
<i>División</i>	Mognoliophyta
<i>Clase</i>	Liliopsida
<i>Subclase</i>	Lliidae
<i>Orden</i>	Asparagales
<i>Familia</i>	Orchidaceae
<i>Subfamilia</i>	Epidendroideae
<i>Género</i>	Cymbidium
<i>Especie</i>	Bicolor

Fuente:(Juárez, 2013)

2.13 Relación de orquídeas y el cambio climático

Las orquídeas son consideradas unas plantas más antiguas y cotizadas debido a su belleza y elegancia; tiene una amplia presencia en territorio ecuatoriano, habitando el 14% de orquídeas del mundo en Ecuador (Ministerio de Turismo, 2013). Esto debido a la ubicación geográfica que presenta una amplia variación de pisos climáticos.

Debido al cambio climático, la agricultura y la deforestación, las orquídeas se encuentran en riesgo de extinción si no reaccionan a un nuevo ambiente. Esto se debe a que se sitúan en el último eslabón de la biota terrestre y la atmósfera, siendo estas las primeras en captar los cambios climáticos, tanto en presión como en temperatura (Rubiano, 2013).

Se sabe que los cambios de temperatura provocan cambios en la altura de las especies, y se ha demostrado que los árboles migran verticalmente a un ritmo de 2,5 a 3,5 metros por año en los Andes peruanos. (Huamaní H. & Denís, 2016). La migración de la línea forestal en las regiones de bosque altoandino y de Palamós (metazona) también experimentó un movimiento ascendente, con un rango de 0,05 a 0,24 m por año, pero esto representó menos del 2,3% de la tasa requerida. mantener el equilibrio con el clima para 2100 (Feeley, et al., 2011)

Según (Rodríguez, 2016) existen algunos factores que hace que las orquídeas sean vulnerables al cambio climático, como son:

- Es posible que las especies con capacidad de dispersión limitada no puedan migrar rápidamente a refugios térmicos favorables.
- La especificidad de las orquídeas hacia ciertos hongos micorrizas limitan la capacidad de dispersión.

- Las orquídeas en pastizales secos, matorrales secos y pastizales forestales pueden experimentar una población reducida debido a la reducción de las precipitaciones y al aumento de los incendios durante la estación seca.
- Las orquídeas como otras plantas son vulnerables a la frecuencia de lluvias y humedad relativa en la atmósfera afectando a sus poblaciones.

Como lo manifiesta (Rodríguez, 2016); “Las orquídeas en estos momentos tienen tres opciones, o cambian su estrategia de vida y se adaptan, como ha sido a lo largo de la evolución; o emigran o se extinguen”.

2.14 Medidores de CO₂

Son herramientas útiles para medir el CO₂ en un espacio específico. Esta manera de medición se ha convertido en un elemento indispensable para un medio como el que hoy en día tenemos. Con el uso de sensores de CO₂ es posible determinar los lugares en los que los niveles de CO₂ son mayores a los que está estipulado por los organismos de control (Moreno & Guerrero, 2020).

En la actualidad existen una variedad de tecnologías diseñadas para medir la concentración de diferentes parámetros (Huarte Rubio, 2021) que además del CO₂ muestran concentraciones de otros gases lo que resulta útil para detectar posibles accidentes con escape de gas, e incluso algunos medidores de CO₂ están diseñados para lanzar una alarma cuando superen un valor determinado (Vargas Marcos F & Ruiz de Adana M, 2021).

2.14.1 Sensor Medidor de Carbono (Sensor de CO₂ MG-811)

Este sensor está diseñado para registrar el CO₂ en el ambiente, tiene un voltaje de 5v o más, un peso de 10 gramos. Dicho sensor tiende a calentarse y es posible sentirlo con el

tacto, el voltaje se incrementa hasta que se nivela, una vez que el sensor esté caliente estará listo para detectar el CO₂, mientras el sensor se encuentre expuesto a mayor temperatura mayor será la detección de CO₂ (ver ilustración 8) (Electrostore, 2019),

Ilustración 8. Sensor de CO₂ MG811 Dióxido de Carbono



Fuente:(Electrostore, 2019).

2.14.2 Data Logging Shield V1.0

Es un buen escudo (shield) que integra todo lo que necesita, un lector de tarjetas SD más un RTC con batería, un regulador de 3.3V para alimentar el registrador SD (generalmente consume más corriente de la que el regulador Arduino puede manejar fácilmente, un poco más) También incluye un área de creación de prototipos para conectar sensores para un sistema simple sin cables. (Electrostore, 2019).

Especificaciones Técnicas

Es compatible: Arduino Uno, Duemilanove, Diecimila, Leonardo, ADK R3 y Mega R3 además posee; Interface para de tarjetas SD: FAT 16 y FAT32, real Time Clock incluido basado en el RTC integrado 1307, porta pilas incluido para mantener la fecha

durante años, regulador integrado de 3.3V para alimentar la tarjeta SD, (ver ilustración 9) (Electrostore, 2019).

Ilustración 9. Data Logging Shield V1.0.



Fuente: Autor, 2022.

2.14.3 Arduino UNO

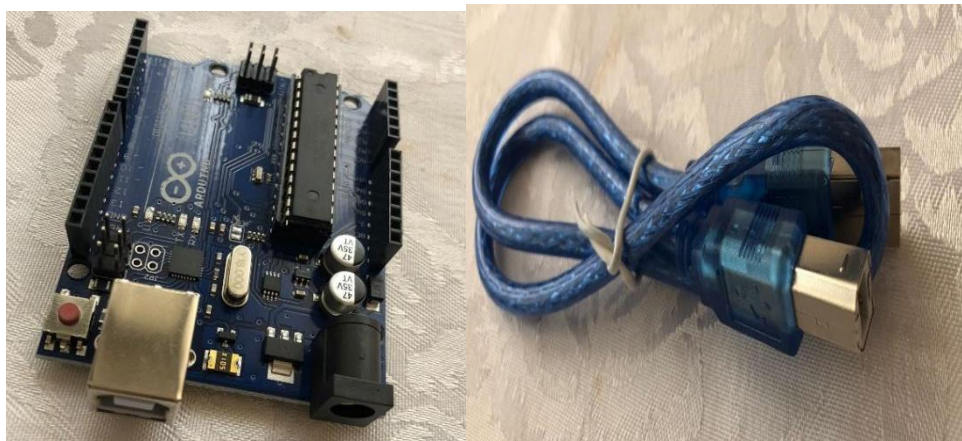
La placa Uno R3 es una placa electrónica que facilita el ingreso al mundo de la programación electrónica, cuenta con una plataforma de código abierto que permite diseñar y modificar hardware y software sin problemas (Electrostore, 2019).

Especificaciones Técnicas

Básicamente, la placa Uno es una placa electrónica basada en el chip Atmel ATmega328. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 de los cuales pueden usarse como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de encendido. El software de la placa de desarrollo incluye controladores USB que pueden simular un mouse, un teclado y puertos serie. La placa tiene todo lo que necesita para admitir el microcontrolador, simplemente conéctelo a su computadora con un cable o adaptador USB. Esta versión de la placa Uno

utiliza el chip CH340 para comunicarse con la computadora, (ver ilustración 10) (Electrostore, 2019).

Ilustración 10. Tarjeta Arduino UNO y cable



Fuente: Autor, 2022.

3. Materiales y Métodos

3.1 Equipos y Materiales

Tabla 4. *Materiales y Equipos para el campo.*

Materiales	Equipos
Cinta métrica	Computadora
Esfero	Sensor
Cuaderno	Cámara fotográfica
Orquídeas <i>Cymbidium clarisse</i> “Pink Ice”	
Orquídeas <i>Cymbidium clarisse</i> “Best Pink”	
Orquídeas <i>Cymbidium bicolor</i>	
Malla Sarán 80%	
Cajón de madera para cubrir el sensor (4) Uds.	
Extensión para conexión (4) Uds.	
Toma Corriente (4) Uds.	

Fuente: Autor, 2022.

Tabla 5. *Materiales y equipos de la fase del laboratorio.*

MATERIALES	EQUIPOS
Cinta Métrica	Cámara de fotos
Guantes	Balanza eléctrica
Mandil	Estufa
Papel Aluminio	
Fundas Plásticas	Sensor de CO2
Marcador permanente	
Formulario para toma de datos	
Lápiz	
Borrador	

Fuente: Autor, 2022.

Los materiales y equipos son utilizados en todo el proceso de monitoreo y análisis tanto en el desarrollo y adaptación de las especies de Orquídeas como en la determinación de la captura de Carbono.

3.2 Delimitación de la zona de estudio

Para la delimitación del área de estudio se usó la herramienta Google Earth, obteniendo la imagen del área exacta de estudio, posterior a ello el Sistema de Información Geográfico ArcMap 10.6, mediante las herramientas de *selección* y *extracción* tanto del cantón como provincia a nivel nacional, obteniendo como resultado el shapefile del área de interés con coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), Zona 17 S, al Datum WGS84 (World Geodetic System 1984).

Ilustración 11. Ubicación geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca – Ecuador



El proyecto fue implementado en 4 edificios ubicados en la Universidad Politécnica Salesiana – sede Cuenca (sector Norte), en las respectivas terrazas de los edificios: Guillermo Mensi (Punto 1), Cornelio Merchán (Punto 2), Guillermo Mensi (Punto 3) y Juan Bottasso (Punto 4).

Ilustración 12. PUNTO 1: Edificio Guillermo Mensi



Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 13. *PUNTO 2: Edificio Cornelio Merchán*



Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 14. *PUNTO 3: Edificio Biblioteca*



Fuente: Autor, 2022.

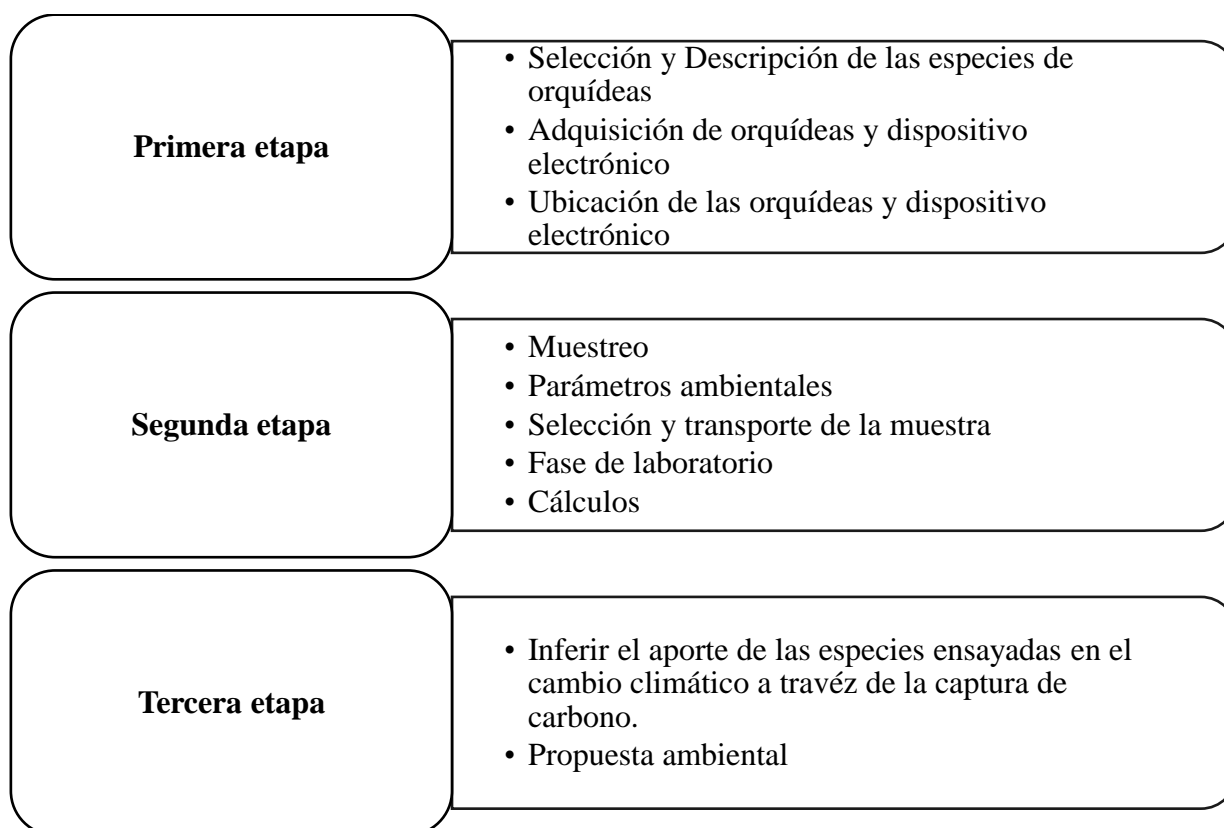
Ilustración 15. *PUNTO 4: Edificio Juan Bottasso*



Fuente: Autor, 2022.

3.3 Esquema metodológico descriptivo

Ilustración 16. *Esquema metodológico del proyecto*



Fuente: Autor, 2022.

El presente experimento se divide en tres etapas: Inicialmente se determina las especies a utilizarse en este análisis, posterior se procede a la ubicación de la especies en los diferentes puntos de muestreo, de las cuales se realiza el estudio de capacidad de captura de carbono; en la segunda etapa se realiza el monitoreo de datos semanalmente, en este punto se considera un dispositivo electrónico a utilizar el cual registra la cantidad de dióxido de carbono existente en el área de estudio, lo cual servirá para contrastar la cantidad de carbono secuestrado por las orquídeas, también se utilizó el laboratorio 1 de química del campus universitario para en lo posterior realizar los cálculos respectivos y finalmente en una tercera etapa se hace una inferencia del aporte de las orquídeas ensayadas al cambio climático y una propuesta de implementación para la Universidad Politécnica Salesiana utilizando orquídeas como indicadoras de cambio climático, basada en los resultados obtenidos de captura de carbono por la especies en estudio y el dispositivo electrónico.

3.4 Primera Etapa

3.4.1 Selección y descripción de las especies

En este estudio se seleccionaron 3 tipos de especies de orquídeas

- (*Cymbidium clarisse* “*Pink Ice*”) Es una de las orquídeas que no requiere de mucho cuidado, posee flores bastante duraderas, sus hojas surgen de una especie de bulbos redondeados que desarrollan brotes anualmente. Esta especie se desarrolla entre un rango de temperatura óptima de 15°C a 18°C. Sin embargo, pueden tolerar temperaturas nocturnas de hasta 10°C en los meses fríos y hasta 30° C en los meses cálidos siempre y cuando no sea muy prolongado (Acosta, 2020).

- (*Cymbidium Clarisse* “*Best Pink*”) Estas especies se desarrollan en climas fríos y lugares elevados, pueden resistir temperaturas entre 10 y 30°C. Una característica propia es que estas plantas tienden a desarrollar más hojas que la mayoría de las orquídeas y necesitan ser plantadas en un recipiente que contenga bien la planta, ya que permanecerá 3 a 4 años en la misma maceta, incluso más si los pseudobulbos no desbordan el bote (Juárez, 2013).
- (*Cymbidium bicolor*) Se desarrollan de forma general hasta una altura de 60 centímetros con su masa foliar. En cuanto a su floración, emite varas florales en forma de racimo de flores, alcanzando alturas que perfectamente pueden superar los 90 centímetros. La temperatura ideal oscila entre los 12 y 22°C (Juárez, 2013).

3.4.2 Adquisición de Orquídeas y dispositivo electrónico (sensor CO2)

Las orquídeas en estudio fueron adquiridas en el Orquideario “EQUAFLOOR” una empresa destinada a la conservación, producción, propagación, venta y exportación de orquídeas y flora ecuatoriana, ubicada en sector Mayancela- sector Sayausí del Cantón Cuenca. Se consideró al momento de adquirir las plantas que estas estén en una etapa de desarrollo y crecimiento, con el fin de identificar y observar su evolución y a su vez que se encuentren en capacidad de absorber gases contaminantes como el CO₂.

Ilustración 17. Empresa proveedora de orquídeas en la ciudad de Cuenca.



Fuente: Autor, 2022.

Se adquirió un total de 36 especies de orquídeas de la especie *Cymbidium*; 12 unidades de *Cymbidium clarisse* “Pink Ice”, 12 unidades de *Cymbidium Clarisse* “Best Pink” y 12 unidades de *Cymbidium bicolor*, que posteriormente fueron trasladadas hacia las instalaciones del Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca.

Adicionalmente se adquirió 4 sensores Mg-811 de dióxido de carbono (CO₂), 4 data logging shield V1.0, 4 Arduino “UNO”, 4 tarjetas SD y microSD para almacenar la información recogida en la presente investigación. Los sensores y demás componentes electrónicos se obtuvieron en la tienda electrónica “ElectroStore” ubicados en la ciudad de “Riobamba”, esta empresa está orientada a la práctica de la ingeniería electrónica, donde dispone de productos para proyectos de robótica, domótica y automatización, tales como: Arduinos, Raspberry, Sensores, Módulos, Shields, Pantallas y Displays, Llantas, Motores, Chasis, Baterías Lipo, Multímetros y Herramientas.

3.4.3 Ubicación de las orquídeas y sensores.

Las orquídeas fueron colocadas en las terrazas de los respectivos edificios, el cual se buscó lugares estratégicos donde no interfiera la comunidad estudiantil y con el fin de

prevenir daños directos del clima hacia las orquídeas de estudio, se implementó una especie de techo con malla sarán al 85% color negro, buscando protegerlas de la radiación directa del sol y la presencia de insectos. Dicha actividad se desarrolló en los cuatro puntos de muestreo.

Ilustración 18. *Colocación de las orquídeas en el Punto 1.*



Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 19. *Ubicación de las orquídeas en el Punto 2*

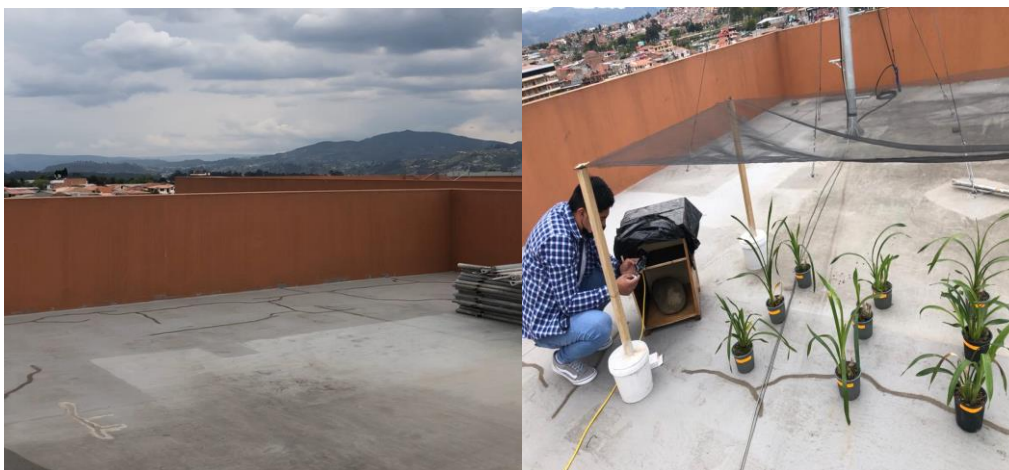


Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 20. *Ubicación de las orquídeas en el Punto 3*



Ilustración 21. *Colocación de orquídeas en el Punto 4*



Fuente: Autor, 2022.

Previo a la colocación de los dispositivos electrónicos (sensores de CO₂) se realizó la instalación y adecuación del sistema energético, debido a que estos dispositivos funcionan a base de energía eléctrica, posterior a ello se procedió a la colocación de los sensores (uno en cada punto de monitoreo) esto luego que hayan sido debidamente calibrados y programados para que los datos sean registrados cada 10 minutos.

Ilustración 22. *Colocación de los sensores de CO2 en los puntos de muestreo.*



Fuente: Autor, 2022.

3.5 Segunda Etapa

3.5.1 Muestreo

Según los autores Rugnitz, León, & Porro, (2009) para la determinación del carbono mediante la relación de materia seca y húmeda, se procede a realizar una selección de hojas (materia húmeda) para obtener las diferentes muestras, cabe recalcar que se tomarán datos semanales del desarrollo de la orquídea (altura, ancho de hojas número de hojas) en cada punto de muestreo de la misma manera se recolectarán datos del dispositivo electrónico sensor de CO2 semanalmente para poder contrastar el carbono existente en cada punto de muestreo con el carbono secuestrado por cada especie de orquídea.

3.5.2 Parámetros ambientales

Monitoreo de los parámetros ambientales

Con el fin de determinar las condiciones ambientales presentes en el área de estudio, y por ende su influencia en la adaptación y desarrollo de las diferentes especies de orquídeas planteadas en el presente proyecto, se registra diariamente los siguientes parámetros:

1. Temperatura (°C)
2. Precipitación (mm)

3. Viento (m/s)
4. Humedad (%)
5. Índice Ultravioleta (bajo, medio, alto)
6. Presión (mbar)

3.5.3 Selección y transporte de la muestra

Se seleccionará una muestra de cada especie en cada punto, esta muestra corresponde al peso verde. Por lo tanto, se separará una submuestra de 100 gr de cada especie, las cuales se recolectarán en fundas herméticas selladas cada una con su respectivo etiquetado (ver ilustración 23) para no confundir las muestras, estas etiquetas contendrán (número de muestra, punto de recolección, especie recolectada y georreferenciación) y serán transportadas al laboratorio de Química 1 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca para su respectivo análisis.

Ilustración 23. Muestras verdes separadas y etiquetadas.



Fuente: Autor, 2022.

3.5.4 Fase de Laboratorio (Muestra Inicial)

En el laboratorio, cada submuestra de 100 g se secó en un horno a 70 °C (ver ilustración 24) durante aprox. 24 horas hasta alcanzar un peso constante. De esta manera, se puede lograr la proporción de materia seca a materia húmeda. (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2008).

Ilustración 24. *Secado de las muestras.*



Fuente: Autor, 2022.

Una vez que se obtengan los valores del proceso de secado, se realiza el cálculo para obtener el total de materia seca, ya sea en T o en Kg de materia seca por cada especie.

3.5.6 Cálculos

Incremento de la masa vegetal

El área foliar tiene una relación directa con la intensidad de intercambio de gases con la atmósfera y la actividad fotosintética (Calderón, Soto, Calderón, Fundora, 2009). Para obtener el crecimiento de la masa vegetal de las orquídeas en estudio se aplicó el método de medir semanalmente de manera manual las hojas de las orquídeas con ayuda de una cinta métrica establecida por (Pérez & Rojo, 2013).

Los parámetros que se midieron semanalmente fueron:

1. Número de hojas por planta
2. Índice de Área Foliar (IAF)

Según lo indica (Pérez & Rojo, 2013) el IAF Es una variable clave para modelar varios procesos fisiológicos de las plantas, como la transpiración, la capacidad fotosintética y el secuestro de carbono, expresado en m². Para realizar el cálculo del IAF se utiliza el método no destructivo, se toma como muestra una especie de cada tipo de orquídea para realizar las medidas de ancho, largo y número de hojas, en donde el resultado se multiplicará por 3 debido a que 9 es el número total de las especies en cada punto de análisis, considerando la siguiente ecuación:

$$IAF = \left(\frac{(\text{Área Foliar})(\text{densidad de población})}{\text{Área sembrada}} \right) \text{ Ecuación 1}$$

a. Cálculo de muestreo biomasa

El cálculo del porcentaje de biomasa seca de cada componente se obtiene del cociente entre la diferencia del peso dividido para el peso verde inicial de la muestra (Jiménez & Landeta, 2009).

$$\%Biomasa\ seca\ (kg) = \text{Peso seco (kg)} / \text{Peso verde (kg)}$$

b. Cantidad de carbono en biomasa de especie de orquídea

- Materia seca de la muestra

Para la determinación de la biomasa se basará en el método de la cantidad de carbono en biomasa no arbórea, donde se aplicará la siguiente ecuación (Rügnitz et al., 2008).

$$MS_{muestra} = (MS_{submuestra}) \times MF_{muestra} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $MS_{muestra} =$
Materia fresca de la muestra ($\frac{kg}{0,25m^2}$ para vegetación no arbórea)
- $MF_{submuestra} =$
Materia fresca (Kg) de la submuestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad
- $MS_{submuestra} =$
Materia seca (kg) de la submuestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.
- $MF_{muestra} =$
Materia fresca de la muestra ($\frac{kg}{0,25m^2}$ para vegetación no arbórea).

c. Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de orquídea

En esta etapa se multiplicará el valor de biomasa obtenido con anterioridad por el factor 0,5 dado por el panel Intergubernamental del cambio climático (IPCC), donde el 50% de biomasa vegetal es equivalente al valor del carbono (Jiménez & Landeta, 2009).

$$\Delta C_{BN\ muestra} = MS_{muestra} \times CF \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $\Delta C_{BN\ muestra} =$ Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea ($kgC/0,25m^2$)
- $CF =$ es la fracción de carbono ($kg \frac{C}{kg} MS$) determinada en el laboratorio o utilizando el valor patrón de IPCC = 0,5

d. Dióxido de carbono fijado

Para determinar la cantidad de dióxido de carbono, después de determinar el carbono se utilizó la siguiente ecuación.

$$CO_2 = Kr * C \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- **CO₂** = Dióxido de carbono
- **B** = Carbono
- **Kr** = 3.67. Factor de conversión a CO₂, resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono 44 y del carbono 12

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), se estima que 1 kg C tiene 3,67 Kg CO₂ (Jiménez & Landeta, 2009).

4. Resultados

4.1 Índice del área foliar

Los resultados obtenidos durante la toma de datos en un periodo de tiempo de 8 semanas en lo que refiere al IAF se presentan en la siguiente tabla:

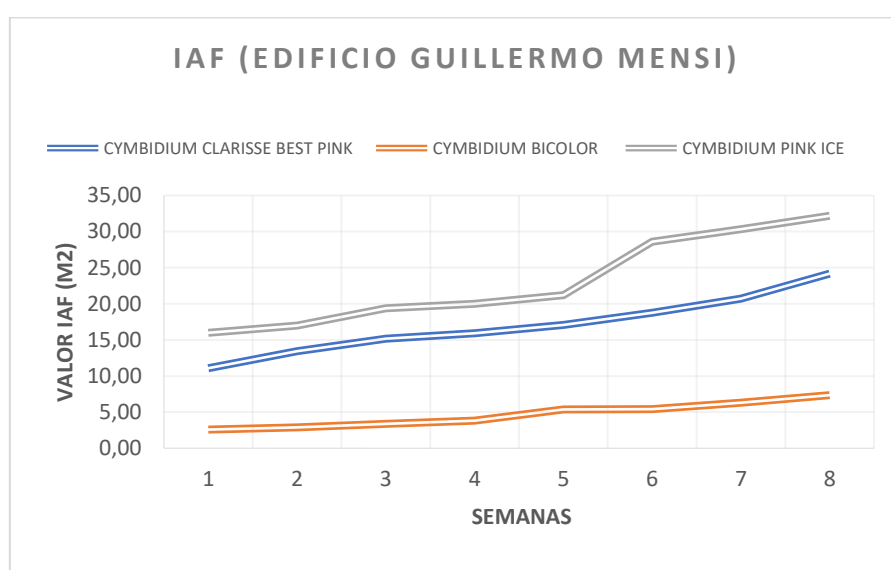
Tabla 6. IAF de las orquídeas ubicadas en el Edificio Guillermo Mensi (Punto 1)

IAF (ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR)								
EDIFICIO GUILLERMO MENSI								
ESPECIES	1/12/2022	8/12/2022	15/12/2022	22/12/2022	29/12/2022	5/1/2023	12/1/2023	19/1/2023
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>CYMBIDIUM CLARISSE</i>	11,08	13,42	15,15	15,92	17,06	18,76	20,69	24,17
<i>BEST PINK</i>								
<i>CYMBIDIUM BICOLOR</i>	2,58	2,91	3,38	3,83	5,36	5,43	6,29	7,35
<i>CYMBIDIUM PINK ICE</i>	15,98	16,96	19,36	20,00	21,20	28,58	30,32	32,18

Fuente: Autor, 2022.

El Índice del Área Foliar (IAF) en este punto 1, edificio Guillermo Mensi reporta los siguientes valores (Ver tabla 7): donde se aprecia que en la especie *Cymbidium Clarisse Best Pink* inicia con un valor de 11,08 en la primera semana y el valor máximo corresponde a 24,17; la especie *Cymbidium Bicolor* inicia con IAF de 2,58 y finaliza con 7,35 y la especie *Cymbidium clarisse pink Ice* inicia con un valor de 15,98 y finaliza su registro con 32,18, siendo la especie con mayor IAF en este punto de análisis.

Ilustración 25. Gráfica de IAF de las orquídeas en el edificio Guillermo Mensi (Punto 1)



Fuente: Autor, 2022.

Asimismo, en la Ilustración 25, se evidencia el incremento del Índice de Área Foliar durante las 8 semanas de monitoreo el cual la especie *Cymbidium pink Ice*, tiene un incremento considerable de IAF en comparación de las otras dos especies.

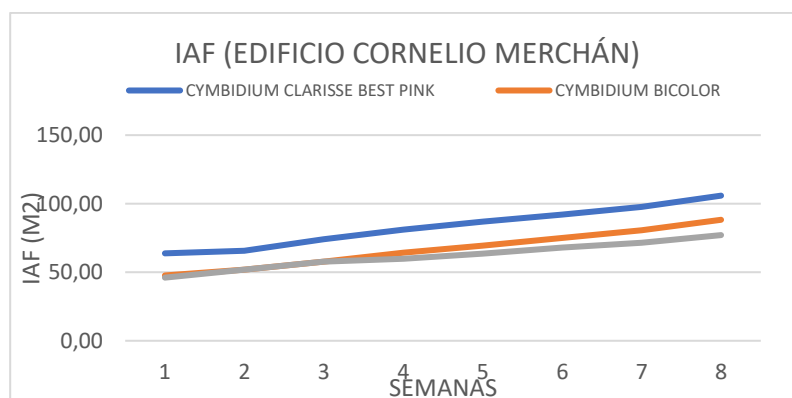
Tabla 7. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Cornelio Merchán (Punto 2).

IAF (ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR)								
EDIFICIO CORNELIO MERCHÁN								
ESPECIES	1/12/2022	8/12/2022	15/12/2022	22/12/2022	29/12/2022	5/1/2023	12/1/2023	19/1/2023
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>CYMBIDIUM CLARISSE</i>								
<i>BEST PINK</i>	63,78	65,62	73,98	81,01	86,96	91,93	97,72	105,86
<i>CYMBIDIUM BICOLOR</i>	47,63	51,93	57,80	64,26	69,35	74,96	80,67	88,25
<i>CYMBIDIUM PINK ICE</i>	46,07	51,93	57,80	59,71	63,47	68,09	71,60	77,08

Fuente: Autor, 2022.

El Índice del Área Foliar (IAF) en este punto 2, edificio Cornelio Merchán reporta los siguientes valores (Ver tabla 8): donde se aprecia que en la especie *Cymbidium clarisse Best Pink* inicia con un valor de 63,78 en la primera semana y el valor máximo corresponde a 105,86; la especie *Cymbidium Bicolor* inicia con IAF de 47,63 y finaliza con 88,25 y la especie *Cymbidium clarisse pink Ice* inicia con un valor de 46,07 y finaliza su registro con 77,08, siendo la especie con mayor IAF en este punto de análisis.

De manera gráfica se demuestra el incremento del Índice de Área Foliar en el punto 2, durante las 8 semanas de monitoreo (ver ilustración 26).

Ilustración 26. Gráfica del IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Cornelio Merchán (Punto 2).

Fuente: Autor, 2022.

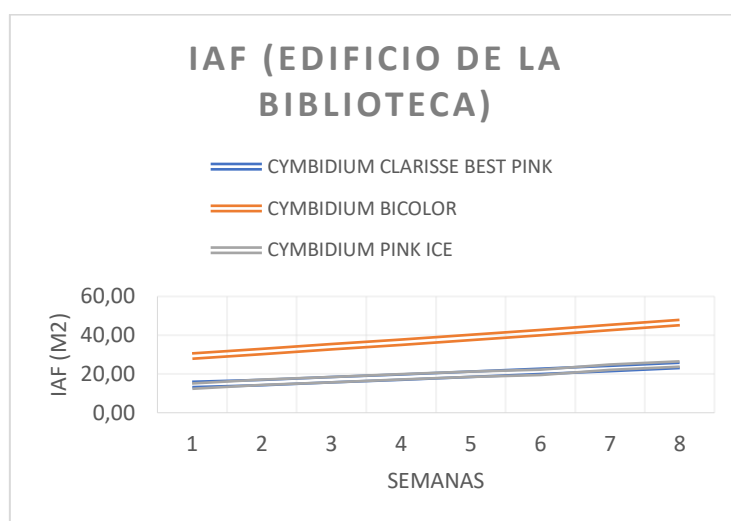
Tabla 8. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Biblioteca (Punto 3)

ESPECIES	IAF (ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR) EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>CYMBIDIUM CLARISSE BEST PINK</i>	14,60	15,54	17,02	18,45	19,84	21,36	22,90	24,45
<i>CYMBIDIUM BICOLOR</i>	29,25	31,63	33,99	36,41	38,86	41,42	43,95	46,55
<i>CYMBIDIUM PINK ICE</i>	13,75	15,77	17,11	18,49	19,89	20,80	23,56	25,14

Fuente: Autor, 2022.

El Índice del Área Foliar (IAF) en este punto 3, edificio de la Biblioteca reporta los siguientes valores (Ver tabla 9): donde se aprecia que en la especie *Cymbidium Clarisse Best Pink* inicia con un valor de 14,60 en la primera semana y el valor máximo corresponde a 24,45; la especie *Cymbidium Bicolor* inicia con IAF de 29,25 y finaliza con 46,55 siendo la especie con mayor IAF en este punto de análisis y la especie *Cymbidium clarisse pink Ice* inicia con un valor de 13,75 y finaliza su registro con 25,14.

De manera gráfica se demuestra el incremento del Índice de Área Foliar en el punto 3, durante las 8 semanas de monitoreo (ver ilustración 27).

Ilustración 27. Gráfica de incremento del IAF ubicadas en el edificio de la Biblioteca (punto 3).

Fuente: Autor, 2022.

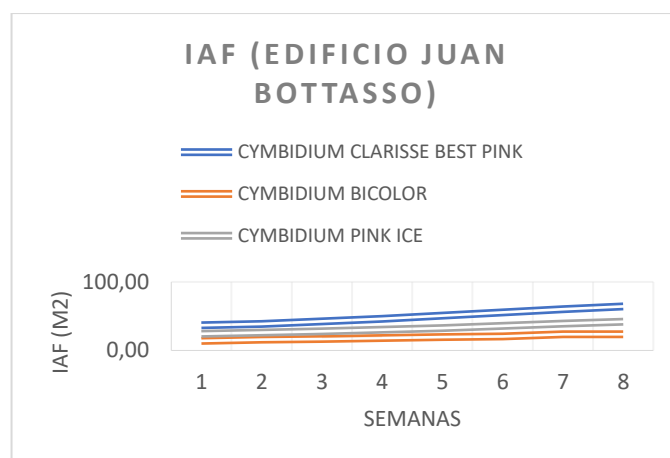
Tabla 9. IAF de las orquídeas ubicadas en el edificio Juan Bottasso (Punto 4).

IAF (ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR)								
EDIFICIO JUAN BOTTASSO								
ESPECIES	1/12/2022	8/12/2022	15/12/2022	22/12/2022	29/12/2022	5/1/2023	12/1/2023	19/1/2023
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>CYMBIDIUM CLARISSE</i>								
<i>BEST PINK</i>	36,81	38,51	42,50	46,23	50,68	55,55	60,21	64,31
<i>CYMBIDIUM BICOLOR</i>	13,97	15,75	16,85	18,21	19,41	20,34	23,63	23,63
<i>CYMBIDIUM PINK ICE</i>	24,34	25,96	27,86	30,13	32,64	36,14	39,16	41,97

Fuente: Autor, 2022.

El Índice del Área Foliar (IAF) en este punto 4, edificio Juan Bottasso reporta los siguientes valores (Ver tabla 10): donde se aprecia que en la especie *Cymbidium clarisse Best Pink* inicia con un valor de 36,81 en la primera semana y el valor máximo corresponde a 64,31 siendo la especie con mayor IAF en este punto de análisis; la especie *Cymbidium Bicolor* inicia con IAF de 13,97 y finaliza con 23,63 y la especie *Cymbidium pink Ice* inicia con un valor de 23,34 y finaliza su registro con 41,97.

De manera gráfica se demuestra el incremento del Índice de Área Foliar en el punto 4, durante las 8 semanas de monitoreo (ver ilustración 28).

Ilustración 28. Gráfica de incremento del IAF ubicada en el edificio Juan Bottasso (Punto 4).

Fuente: Autor, 2022.

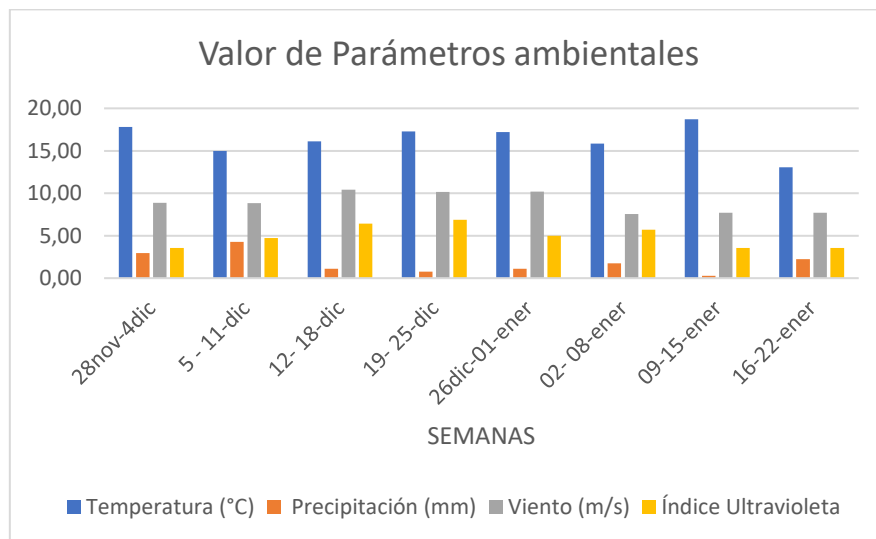
4.2 Parámetros Ambientales

Tabla 10. *Valores promedio de los parámetros ambientales registrados en el área de estudio*

VALORES PROMEDIO SEMANAL DE PARÁMETROS AMBIENTALES								
PARÁMETROS	28nov-4dic	5 - 11-dic	12- 18-dic	19- 25-dic	26dic-01-ener	02- 08-ener	09-15-ener	16-22-ener
Temperatura (°C)	17,80	14,97	16,11	17,29	17,21	15,86	18,71	13,04
Precipitación (mm)	2,97	4,27	1,10	0,79	1,11	1,76	0,29	2,23
Viento (km/h)	8,87	8,83	10,43	10,14	10,19	7,57	7,71	7,71
Humedad (%)	87,47	87,26	86,46	84,89	82,44	83,11	81,00	81,00
Índice Ultravioleta	3,57	4,71	6,43	6,86	5,00	5,71	3,57	3,57
Presión (mbar)	1014,00	1015,00	1014,29	1014,43	1014,43	1015,00	1018,71	1018,71

Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 29. Representación gráfica de la variación de los parámetros ambientales del área de estudio.



Fuente: Autor, 2022.

Los factores del clima muestran variación a lo largo de 8 semanas, de las cuales se obtienen datos diarios, considerando para el análisis su valor promedio.

Se representa en la tabla 11, la variación de los factores del clima, con los siguientes valores; temperatura tiene un rango entre 13,03 a 18,71 °C; precipitación mínima de 0,29 y 4,27 mm como máximo; viento en un rango de 7,57 a 10,43 km/h; Índice Ultravioleta con un mínimo de 3,57 y máximo de 6.86; humedad del 81% como mínimo y máximo alcanzó 87,47% y la presión con valor mínimo de 1012 y un máximo de 1018,71 mbar.

De manera gráfica se demuestra la variación de los factores climáticos en el área de estudio (Universidad Politécnica Salesiana), durante las 8 semanas de monitoreo, desde el 28 de noviembre hasta el 22 de enero (ver ilustración 29).

4.3 Concentración de Carbono (C) en las especies de Orquídeas

Se crearon gráficos estadísticos para presentar los resultados donde se obtiene la variación de biomasa, cantidad de carbono y cantidad de CO₂ secuestrado, en los cuatro puntos de muestreo, compuesto en su totalidad por 36 especies de orquídeas.

4.3.1 Especies de Orquídeas que componen los cuatro puntos de muestreo

En la tabla 11, se muestra el número de especies de orquídeas ensayadas, dichas especies están conformadas por características similares, en cuanto a su taxonomía, su cultivo, y a sus flores de gran belleza.

Tabla 11. Número de especies de Orquídeas analizadas.

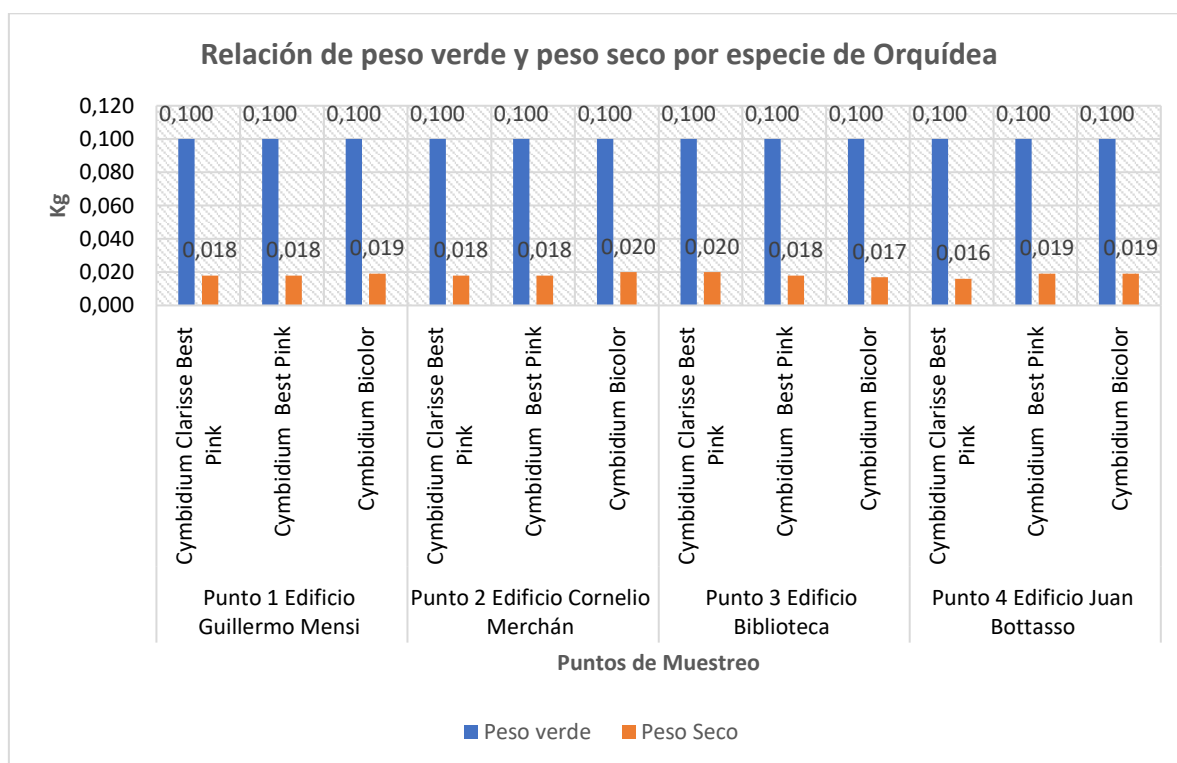
<i>Punto de Muestreo</i>	<i>Especie de Orquídea</i>	<i>Cantidad de especies</i>
<i>Punto 1 Edificio</i>	Cymbidium Clarisse Best	3
<i>Guillermo Mensi</i>	Pink	3
	Cymbidium Pink Ice	3
	Cymbidium Bicolor	
<i>Punto 2 Edificio</i>	Cymbidium Clarisse Best	3
<i>Cornelio Merchán</i>	Pink	3
	Cymbidium Pink Ice	3
	Cymbidium Bicolor	
<i>Punto 3 Edificio</i>	Cymbidium Clarisse Best	3
<i>Biblioteca</i>	Pink	3
	Cymbidium Pink Ice	3
	Cymbidium Bicolor	
<i>Punto 4 Edificio Juan</i>	Cymbidium Clarisse Best	3
<i>Bottasso</i>	Pink	3
	Cymbidium Pink Ice	3
	Cymbidium Bicolor	

Fuente: Autor, 2022.

4.3.2 Datos generales de peso por especie de orquídea en los diferentes puntos de muestreo.

En la ilustración 30, se presenta el peso verde de cada punto de muestreo y peso seco, una vez realizada la conversión se obtiene que todas las especies ensayadas tienen un peso verde de 0,100 kg conforme lo establece la metodología, y las especies con mayor peso seco es la *Cymbidium bicolor* en el punto 2 del edificio Cornelio Merchán y *Cymbidium Clarisse Best Pink* en el punto 3 del edificio Biblioteca.

Ilustración 30. Relación peso verde y peso seco por especie de Orquídea.



Fuente: Autor, 2022.

4.3.3 Correlación de peso verde y peso seco por especie de orquídea

En la ilustración 31 se demostró una correlación obtenida de la peso verde y el peso seca obtenida en el laboratorio, lo cual, para alcanzar el peso seco se utilizó una estufa durante

aprox. 24 horas a 70°C para obtener un peso constante, luego se procedió a calcular la suma de los pesos de las especies de Orquídeas para cada punto de muestreo.

Ilustración 31. *Correlación peso verde y peso seco por punto de muestreo.*



4.3.4. Porcentaje de biomasa seca obtenida en las diferentes especies ensayadas

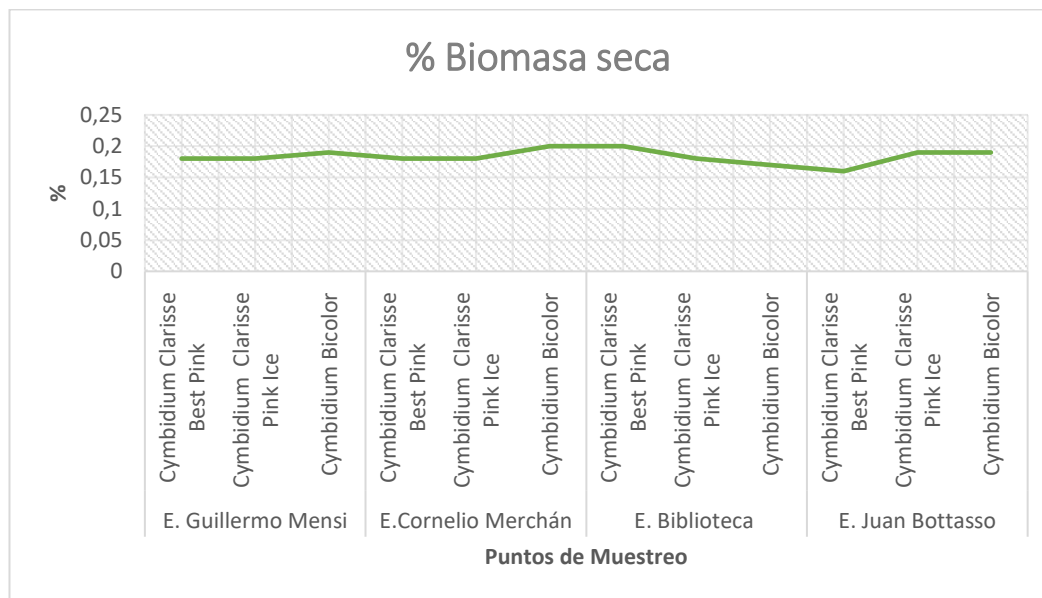
En la ilustración 32 se muestra la línea de variación de porcentaje de la biomasa de cada especie ubicada en los distintos puntos de muestreo, dando como resultado que en el edificio Juan Bottasso la especie *Cymbidium Clarisse Best Pink* presenta el menor porcentaje equivalente a 0,16 mientras que en el edificio Cornelio Merchán la especie *Cymbidium Bicolor* y en la Biblioteca la especie *Cymbidium Clarisse Best Pink* alcanzaron un porcentaje de 0,20. Para llegar a dichos valores se considera la Ecuación 1 expuesta en la parte metodológica de la presente investigación.

Tabla 12. *Porcentaje de biomasa seca de las distintas especies por punto de muestreo.*

Puntos de Muestreo	Especies	Peso verde	Peso Seco	% Biomasa seca
E. Guillermo Mensi (Punto 1)	<i>Cymbidium clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	0,19
E. Cornelio Merchán (Punto 2)	<i>Cymbidium clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,020	0,20
E. Biblioteca (Punto 3)	<i>Cymbidium clarisse Best Pink</i>	0,100	0,020	0,20
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,017	0,17
E. Juan Bottasso (Punto 4)	<i>Cymbidium clarisse Best Pink</i>	0,100	0,016	0,16
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,019	0,19
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	0,19

Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 32. *Porcentaje de biomasa seca obtenida en las diferentes especies ensayadas*



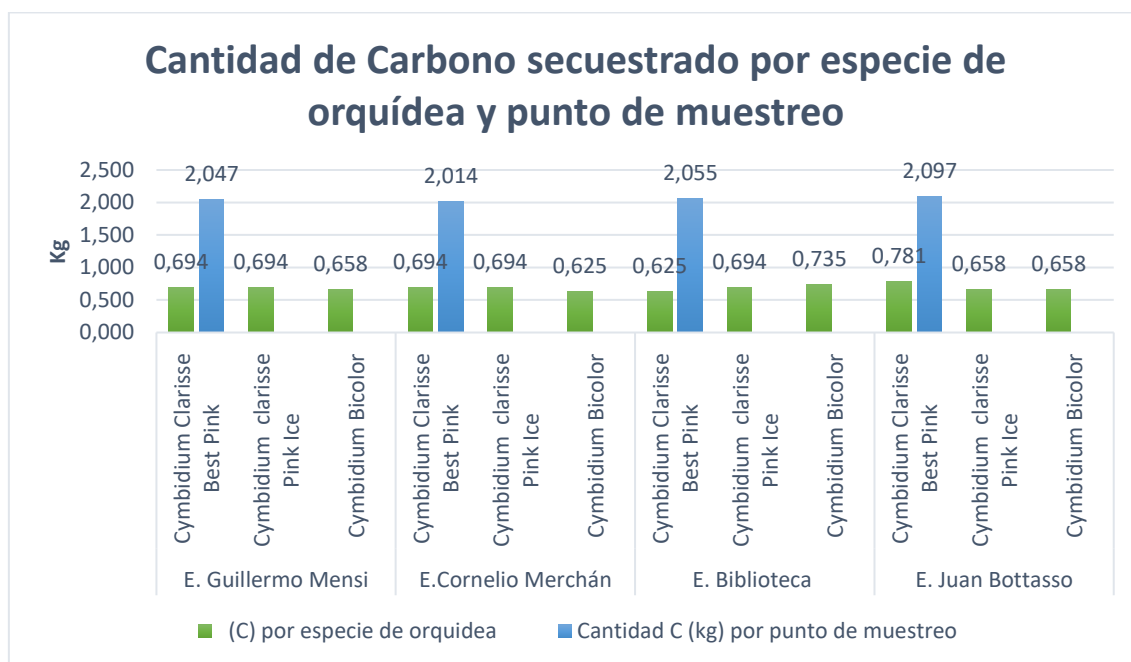
Fuente: Autor, 2022.

4.3.4 Cantidad de carbono (C) y dióxido de carbono (CO₂) secuestrado por las diferentes especies de orquídeas.

En la ilustración 33 se muestra la cantidad de carbono que secuestra cada especie de orquídea, determinando que en el edificio Cornelio Merchán la especie Cymbidium Bicolor presenta la menor fijación de 0,625 kg C, mientras que en el edificio Juan Bottasso la especie Cymbidium Clarisse Best Pink resalta como mayor captador de 0,781 kg C, así mismo podemos observar la absorción por punto de muestreo en donde el punto 3 y 4 de los edificios de la Biblioteca y Juan Bottasso son similares y de mayor fijación de carbono que va desde 2,055 Kg C y 2,097 Kg C respectivamente.

Para determinar estos resultados se hace uso de la Ecuación 2 y 3 expuestas en el presente proyecto.

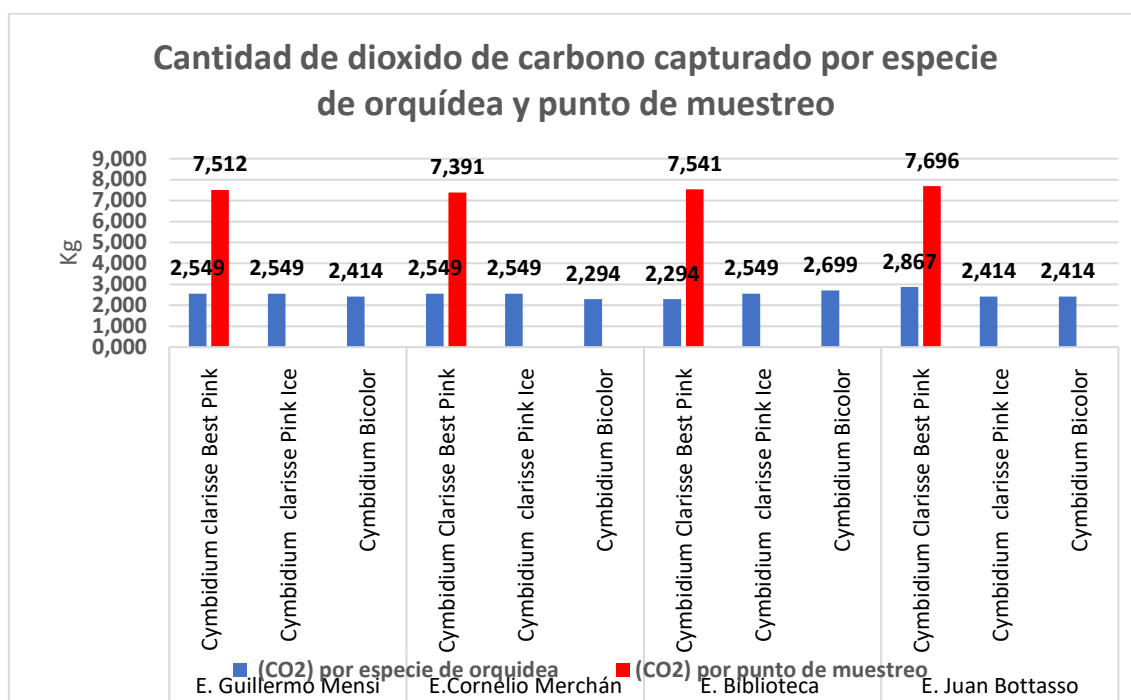
Ilustración 33. Cantidad de carbono (C) secuestrado por las diferentes especies de orquídeas.



Fuente: Autor, 2022.

En la ilustración 34 se observa la capacidad de absorción de CO₂ en cada especie de orquídea resultando que en el edificio Cornelio Merchán la especie Cymbidium Bicolor es la de menor fijación con 2,294 KgCO₂, mientras que en el edificio Juan Bottasso la especie Cymbidium clarisse Best Pink es la que mayor cantidad de CO₂ capturo con un valor de 2,865 kgCO₂, también se puede observar la captura de CO₂ por puntos de muestreo donde resulta que en el punto 4 del edificio Juan Bottasso presenta la mayor cantidad de CO₂ fijado con un valor de 7,696 KgCO₂.

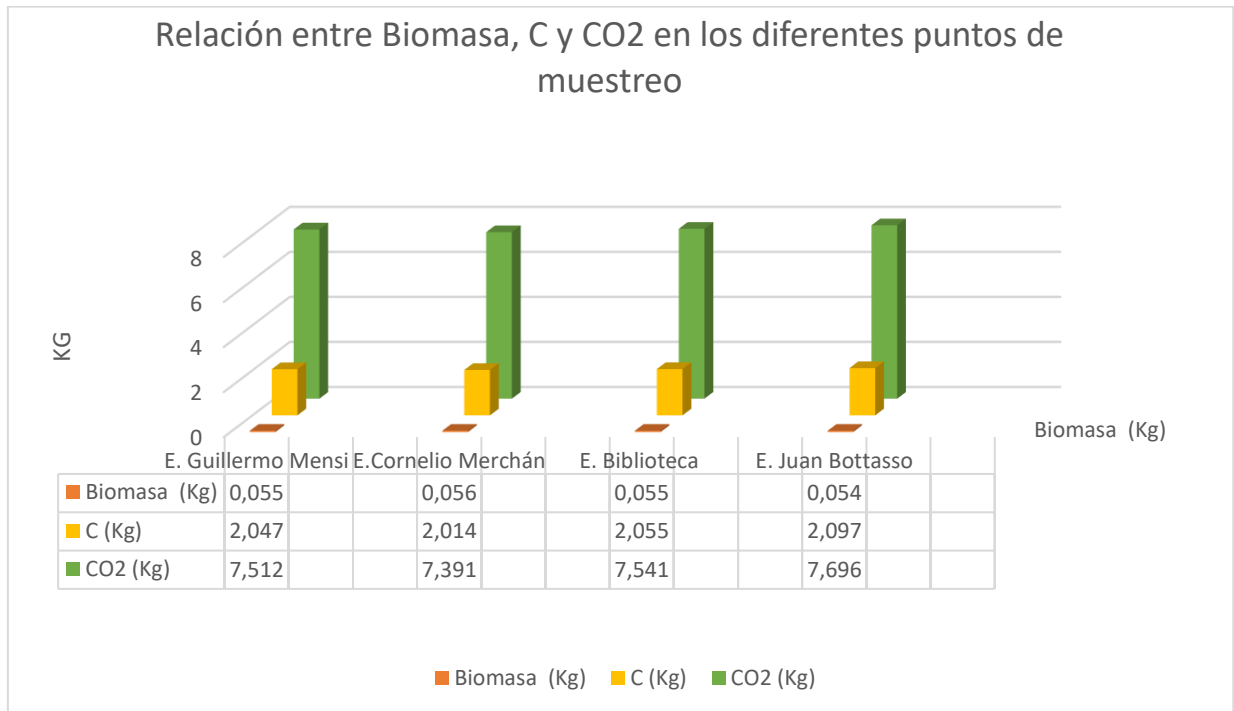
Ilustración 34. Cantidad de CO₂ capturado por especie de orquídea.



Fuente: Autor, 2022.

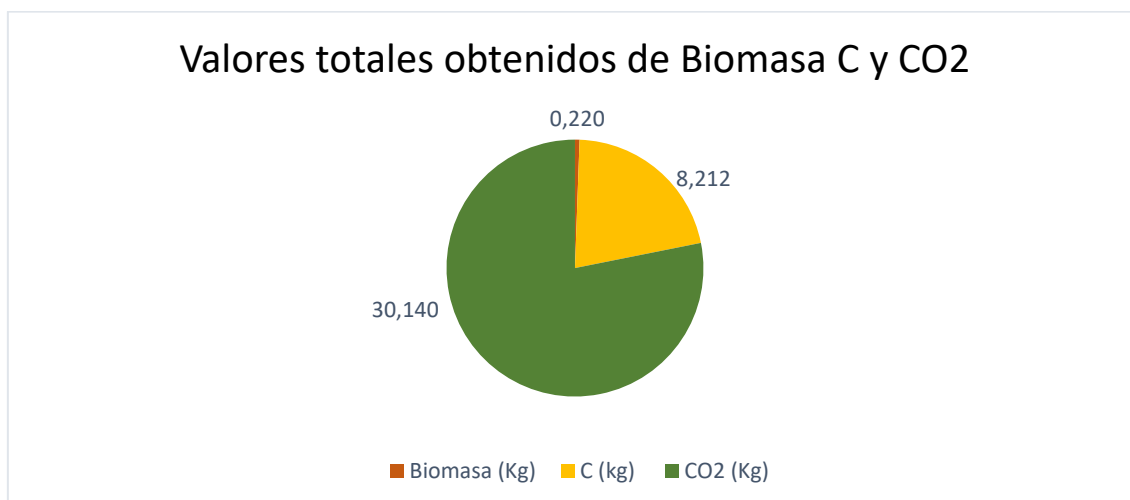
4.3.5 Correlación entre los resultados totales de biomasa, carbono y dióxido de carbono

En la ilustración 35 se establece la correlación entre los valores obtenidos de biomasa, carbono y dióxido de carbono en los cuatro puntos de muestreo, donde se observa una igualdad entre el punto 1 Guillermo Mensi y punto 3 Biblioteca con valores de 0,055 kg y una similitud con respecto a la biomasa, en cuanto al carbono se evidencia que en el punto 3 y 4 de los edificios de Biblioteca y Juan Bottasso existe una similitud con valores de 2,055 Kg C y 2,097 Kg C respectivamente, siendo estos dos puntos con los valores más altos en cuanto a las variables de análisis.

Ilustración 35. Relación entre % Biomasa, C y CO₂

Fuente: Autor, 2022.

En la ilustración 36 se evidencia los valores totales obtenidos de todos los puntos de muestreo y de todas las especies ensayadas dando un valor de biomasa de 0,220 Kg, siendo la cantidad de carbono total de 8,212 Kg C y la fijación total de CO₂ de 30,140 KgCO₂.

Ilustración 36. Comparación gráfica de Biomasa, C y CO₂ obtenidos.

Fuente: Autor, 2022.

4.4 Concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) registrado en los Sensores

Se realizó el análisis estadístico en estudio, donde se determinó estadígrafos como media, mediana, y desviación estándar, y además se verificó mediante análisis de varianzas la existencia o no, de diferencias entre los grupos de datos.

4.4.1 Concentración CO₂ punto 1 Guillermo Mensi

Los datos están agrupados por rangos horarios estos son: 6am – 9am, 9am – 12pm, 12pm-15pm, 15pm-18pm, 18pm-21pm.

Tabla 13. Cálculos estadísticos de la media, mediana y desviación estándar en el punto 1 Guillermo Mensi

Grupo de datos	Estadígrafo		
	Media	Mediana	Desviación estándar
6am-9am	257.34	266.77	69.36
9am-12pm	236.96	233.78	35.90
12pm-15pm	325.20	338.76	56.54
15pm-18pm	236.73	240.81	57.69
18pm-21pm	246.50	221.73	93.54

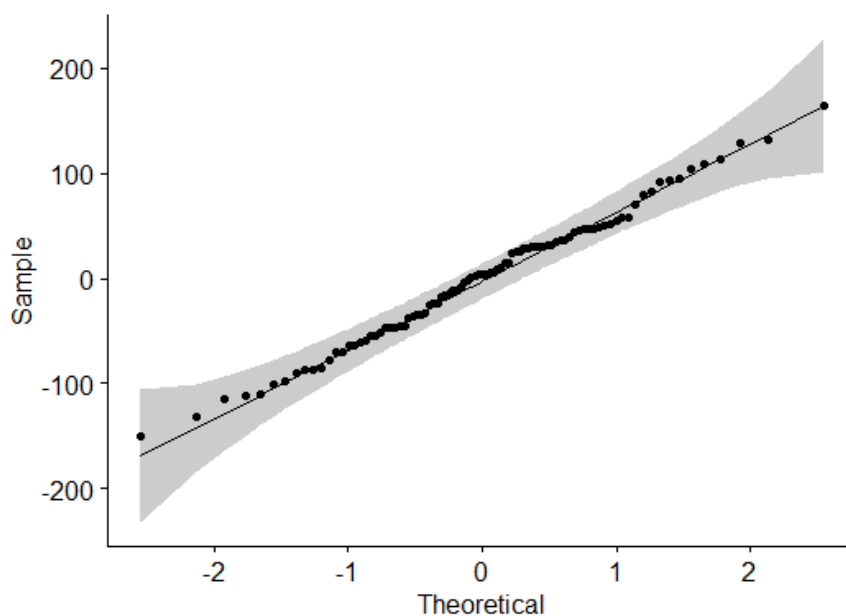
Fuente: Autor, 2022.

No existen valores extremos

4.4.1.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos, obteniendo lo siguiente:

Ilustración 37. Prueba de normalidad y homogeneidad en el punto 1 Guillermo Mensi



Fuente: Autor, 2022.

Tabla 14. Prueba de Shapiro-Wilk normality test en el punto 1 Guillermo Mensi

Prueba	Dato	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	6am – 9am	0.642
	9am-12pm	0.926
	12pm-15pm	0.619
	15pm-18pm	0.478
	18pm-21pm	0.190

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que todos los valores de los grupos de datos cumplen con el supuesto de normalidad ($p\text{-valor} > 0.05$)

Prueba de homogeneidad.

Para el cálculo de la homogeneidad se lo realizó con la prueba de Bartlett test, para datos paramétricos,

Prueba paramétrica	p-valor
Bartlett test of homogeneity of variances	0.004015

Fuente: Autor, 2022.

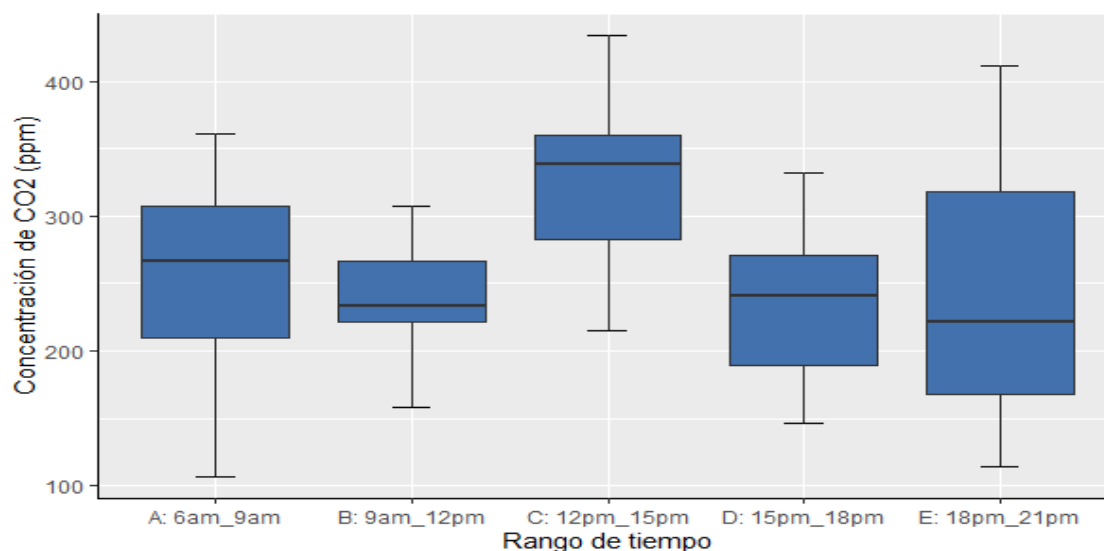
Se evidencia que no cumple con el supuesto de homogeneidad ($p\text{-valor} < 0.05$).

Prueba t de Welch (análisis de varianza)

Se realizó la prueba de Welch asumiendo que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, pero no cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Prueba estadística	p-valor
Prueba t de Welch	5.762e-5

Ilustración 38. Concentración de CO₂ (ppm) en el punto 1 Guillermo Mensi



Fuente: Autor, 2022.

La prueba de Welch realizada demuestra diferencia significativa entre los grupos de estudio ($p\text{-valor} < 0.05$), por lo tanto, debemos realizar una prueba post hoc, para verificar en qué grupos existe diferencia.

4.4.4.2 Prueba post hoc

Se realizó la prueba post hoc para verificar en que grupos de datos existe o no diferencias significativas.

Tabla 15. Prueba post hoc para el punto 1 Guillermo Mensi

Grupo 1	Grupo 2	p-valor	Detalle
A	B	0.885	NS
A	C	0.0218	S
A	D	0.881	NS
A	E	0.987	NS
B	C	0.00113	S
B	D	1.00	NS
B	E	0.992	NS
C	D	0.00109	S
C	E	0.00417	S
D	E	0.991	NS

Nota: *S: Significativo, NS: No significativo

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que existe diferencia significativa entre los grupos A-C, B-C, C-D y C-E además se muestran que el grupo de datos A-B, A-D, A-E, B-D, B-E, y D-E, estadísticamente son iguales al no existir diferencia significativa.

4.4.2 Concentración de CO₂ punto 2 Cornelio Merchán

Los datos están agrupados por rangos horarios estos son: 6am – 9am, 9am – 12pm, 12pm-15pm, 15pm-18pm, 18pm-21pm.

Tabla 16. *Calculó estadísticos como la media, mediana y desviación estándar en el punto 2: Cornelio Merchán*

Estadígrafo			
Grupo de datos	Media	Mediana	Desviación estándar
6am-9am	243.71	247.80	57.62
9am-12pm	228.96	230.12	29.75
12pm-15pm	296.47	306.97	43.38
15pm-18pm	223.81	225.68	43.89
18pm-21pm	232.17	217.51	70.12

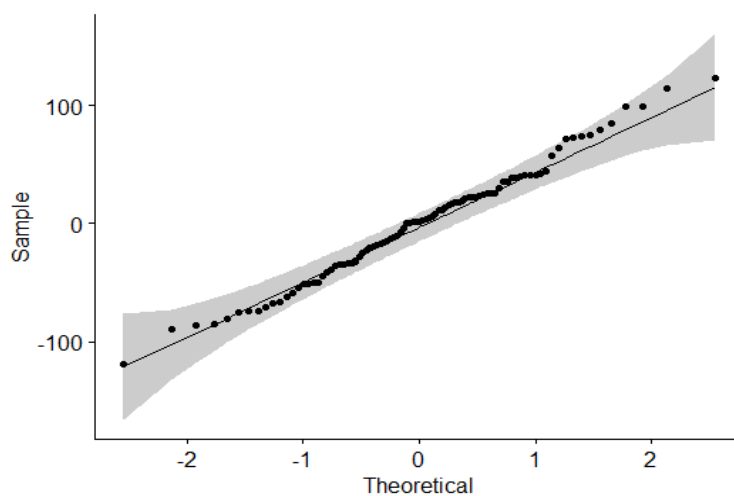
Fuente: Autor, 2022.

No existen valores extremos

4.4.2.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos, obteniendo lo siguiente:

Ilustración 39. *Prueba de normalidad y homogeneidad punto 2 Cornelio Merchan*



Fuente: Autor, 2022.

Tabla 17. Prueba Shapiro-Wilk Normality test punto 2 Cornelio Merchan

Prueba	Dato	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	6am – 9am	1.00
	9am-12pm	0.962
	12pm-15pm	0.674
	15pm-18pm	0.519
	18pm-21pm	0.0939

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que todos los valores de los grupos de datos cumplen con el supuesto de normalidad ($p\text{-valor} > 0.05$)

Prueba de homogeneidad: Para el cálculo de la homogeneidad se lo realizó con la prueba de Bartlett test, para datos paramétricos,

Prueba paramétrica	p-valor
Bartlett test of homogeneity of variances	0.009466

Fuente: Autor, 2022.

Se evidencia que no cumple con el supuesto de homogeneidad ($p\text{-valor} < 0.05$).

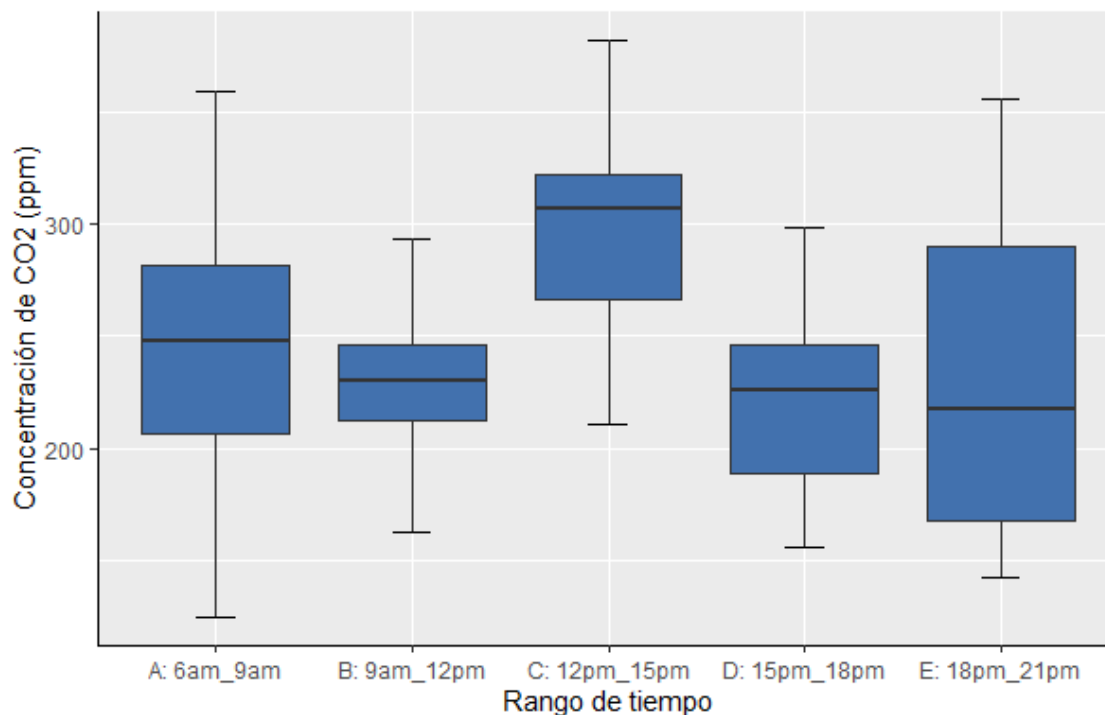
Prueba t de Welch (análisis de varianza)

Se realizó la prueba de Welch asumiendo que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, pero no cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas

Prueba estadística	p-valor
Prueba t de Welch	4.396e-5

Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 40. Concentración de CO₂ (ppm) punto 2 Cornelio Merchan



Fuente: Autor, 2022.

La prueba de Welch realizada demuestra diferencia significativa entre los grupos de estudio ($p\text{-valor} < 0.05$), por lo tanto, debemos realizar una prueba post hoc, para verificar en qué grupos existe diferencia.

4.4.2.2 Prueba post hoc

Se realizó la prueba post hoc para verificar en qué grupos de datos existe o no diferencias significativas.

Tabla 18. Prueba post hoc en el punto 2 Cornelio Merchan

Grupo 1	Grupo 2	p-valor	Detalle
A	B	0.909	NS
A	C	0.0217	S
A	D	0.769	NS
A	E	0.959	NS
B	C	0.00141	S
B	D	0.998	NS
B	E	1.00	NS
C	D	0.000483	S
C	E	0.00226	S
D	E	0.987	NS

***S**: Significativo, **NS**: No significativo

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que existe diferencia significativa entre los grupos A-C, B-C, C-D, C-E además se muestra que el grupo de datos A-B, A-D, A-E, B-D, B-E, y D-E, estadísticamente son iguales al no existir diferencia significativa.

4.4.3 Concentración de CO2 punto 3 Biblioteca

Los datos están agrupados por rangos horarios estos son: 6am – 9am, 9am – 12pm, 12pm-15pm, 15pm-18pm, 18pm-21pm.

Tabla 19. Cálculos estadísticos de la media, mediana y desviación estándar en el punto 3: Biblioteca

Estadígrafo			
Grupo de datos	Media	Mediana	Desviación estándar
6am-9am	211.87	208.50	43.54
9am-12pm	305.17	303.04	43.83
12pm-15pm	364.26	357.14	41.36
15pm-18pm	314.79	308.37	37.76
18pm-21pm	273.44	269.68	56.84

Fuente: Autor, 2022.

Se determinaron los posibles valores atípico extremos:

Grupo de datos	Valor
C:12pm-15pm	447.

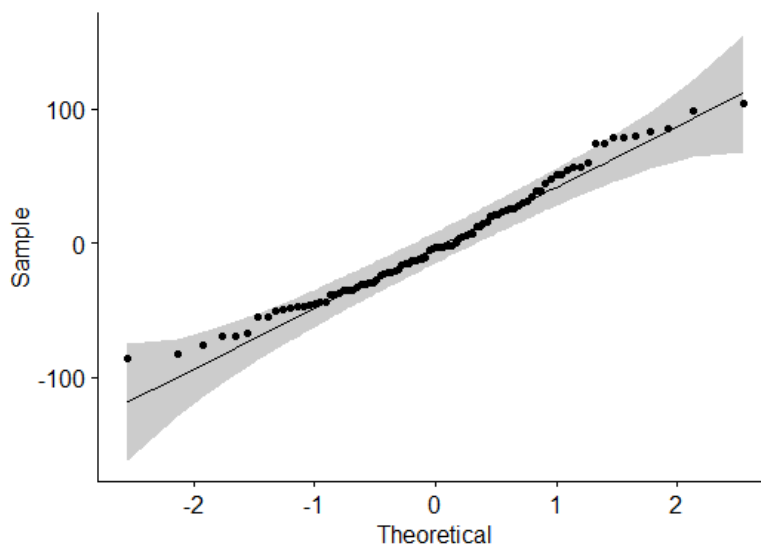
Fuente: Autor, 2022.

Se muestra un valor atípico en el grupo de datos en el rango horario de 12pm-15pm.

4.4.3.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos, obteniendo lo siguiente:

Ilustración 41. Pruebas de Normalidad y Homogeneidad punto 3 Biblioteca



Fuente: Autor, 2022.

Tabla 20. Prueba Shapiro-Wilk Normality test punto 3 Biblioteca

Prueba	Grupo de datos	p-valor
Shapiro-Wilk test	6am – 9am	0.744
	9am-12pm	0.03185
	12pm-15pm	0.7045
	15pm-18pm	0.5221
	18pm-21pm	0.5178

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que los valores que están en el rango horario 9am – 12pm no cumple con el supuesto de normalidad (p -valor <0.05). Al no cumplir con el supuesto de normalidad al menos un grupo de datos, estos se consideran no normales, por lo tanto, se utilizarán pruebas no paramétricas.

Prueba de homogeneidad.

Para el cálculo de la homogeneidad se lo realizó con la prueba de Fligner-Kill para datos no paramétricos,

Prueba no paramétrica	p-valor
Fligner-Kill test of homogeneity of variances	0.284

Fuente: Autor, 2022.

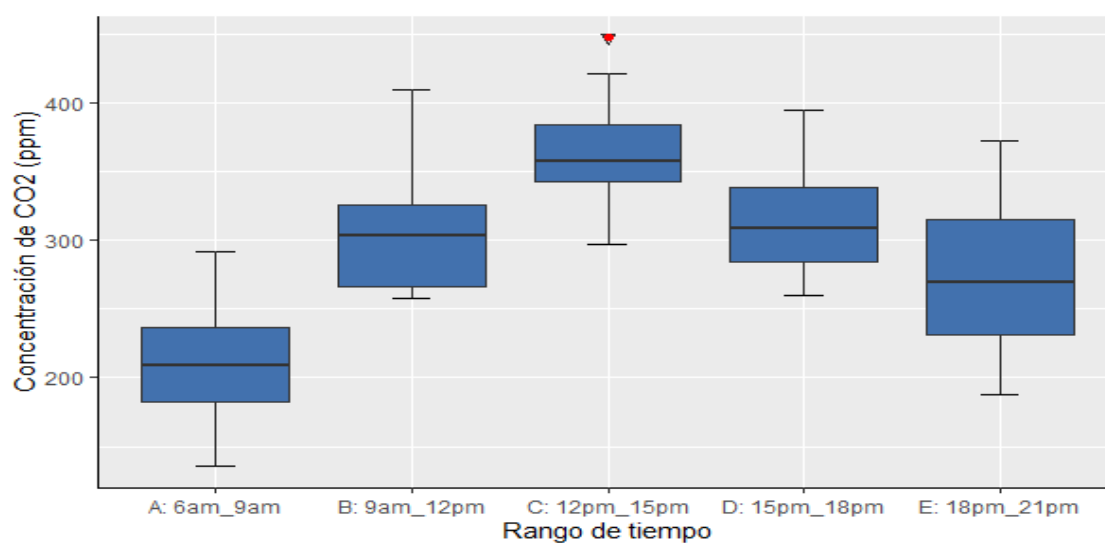
Se evidencia que cumple con el supuesto de homogeneidad (p -valor >0.05).

ANOVA

Se realizó un análisis de varianzas ANOVA, para determinar si existen o no diferencias entre los grupos de datos.

Prueba estadística	p-valor
ANOVA	7.75e-15

Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 42. Concentración de CO₂ (ppm) punto 3 Biblioteca

Fuente: Autor, 2022.

El ANOVA realizado demuestra diferencia significativa entre los grupos de estudio (p -valor < 0.05), por lo tanto, debemos realizar una prueba post hoc, para verificar en que grupos existe diferencia.

4.4.3.2 Prueba post hoc

Se realizó la prueba post hoc para verificar en qué grupos de datos existe o no diferencias significativas.

Tabla 21. Prueba Post hoc de valores obtenidos en el punto 3: Biblioteca

Grupo 1	Grupo 2	p-valor	Detalle*
A	B	2.03e-7	S
A	C	2.59e-10	S
A	D	1.22e-8	S
A	E	7.65e-4	S
B	C	1.66e-3	S
B	D	9.69e-1	ns
B	E	2.17e-1	ns
E	D	1.28e-2	s
E	E	2.96e-7	S
D	E	5.14e-2	Ns

*S: Significativo, NS: No significativo

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que existe diferencia significativa entre los grupos A-B, A-C, A-D, A-E, B-C, E-D, E-E, además se muestra que el grupo de datos B-D, B-E, D-E estadísticamente son iguales al no existir diferencia significativa.

4.4.4 Concentración de CO2 punto 4 Juan Bottasso

Los datos están agrupados por rangos horarios estos son: 6am – 9am, 9am – 12 pm, 12pm-15pm, 15pm-18pm, 18pm-21pm.

Tabla 22. Cálculos estadísticos como la media, mediana y desviación estándar en el punto 4 Juan Bottasso

Grupo de datos	Estadígrafo		Desviación estándar
	Media	Mediana	
6am-9am	308.06	318.16	60.44
9am-12pm	312.57	304.46	38.18
12pm-15pm	394.02	395.09	49.11
15pm-18pm	315.14	316.17	38.31
18pm-21pm	313.35	293.48	81.56
Total	328.46	330.02	64.07

Fuente: Autor, 2022.

Se determinaron los posibles valores extremos:

Grupo de datos	Valor
A:6am-9am	166.

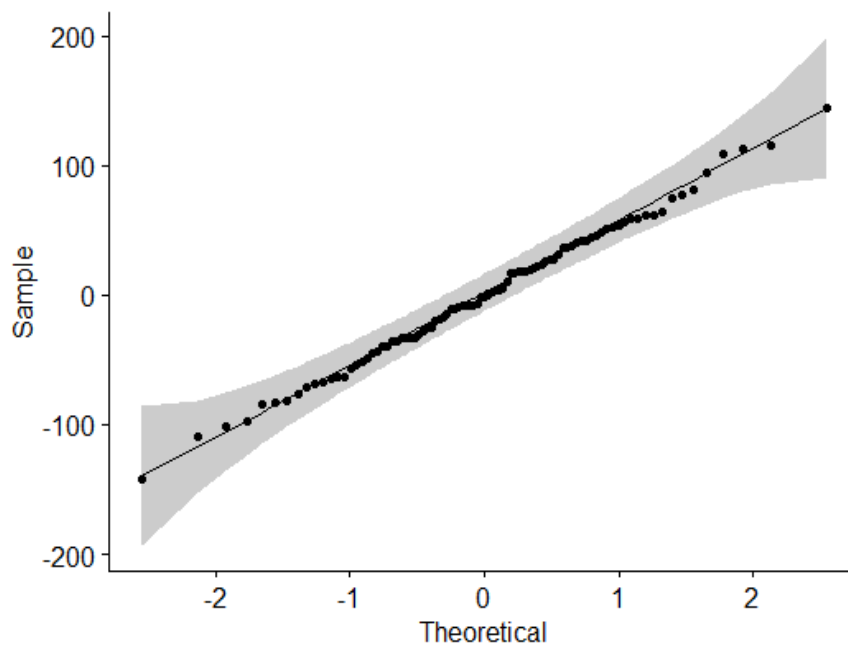
Fuente: Autor, 2022.

Se muestra un valor atípico en el grupo de datos en el rango horario de 6am-9am.

4.4.4.1 Pruebas de normalidad y homogeneidad.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos, obteniendo lo siguiente:

Ilustración 41. Pruebas de normalidad y homogeneidad en el punto 4 Juan Bottasso



Fuente: Autor, 2022.

Tabla 23. Prueba Shapiro-Wilk normality test en el punto 4 Juan Bottasso

Prueba	Grupo de datos	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	6am – 9am	0.264
	9am-12pm	0.553
	12pm-15pm	0.871
	15pm-18pm	0.549
	18pm-21pm	0.108

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que todos los valores de los grupos de datos cumplen con el supuesto de normalidad ($p\text{-valor} > 0.05$)

Prueba de homogeneidad.

Para el cálculo de la homogeneidad se lo realizó con la prueba de Bartlett test, para datos paramétricos,

Prueba paramétrica	p-valor
Bartlett test of homogeneity of variances	0.005066

Fuente: Autor, 2022.

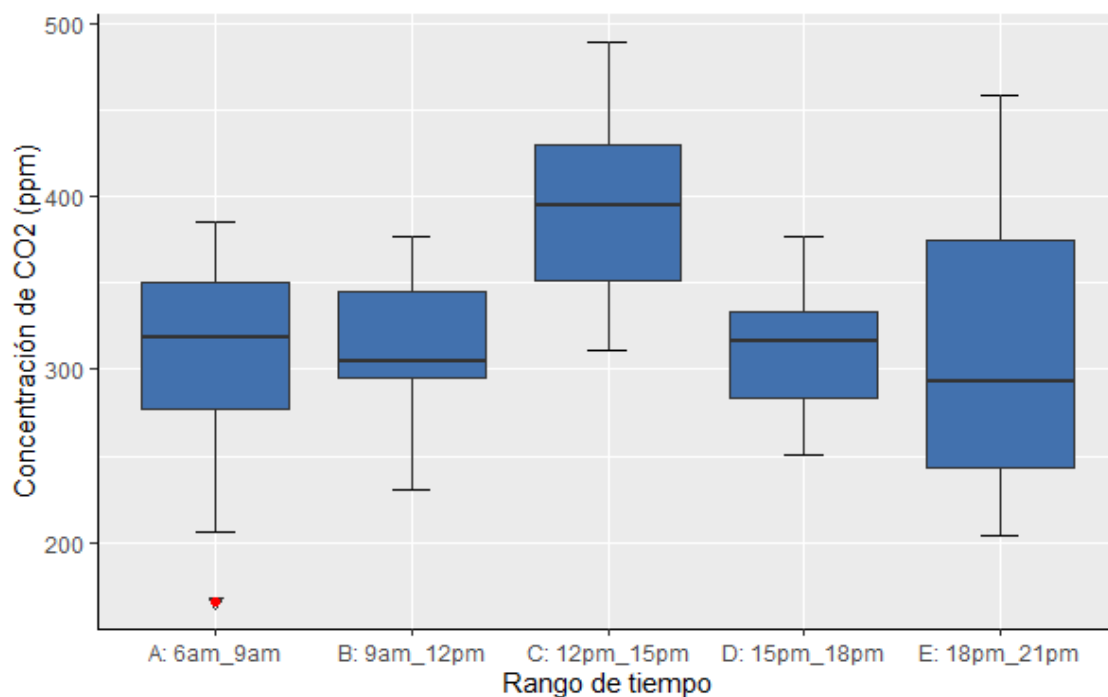
Se evidencia que no cumple con el supuesto de homogeneidad ($p\text{-valor} < 0.05$).

Prueba t de Welch

Se realizó la prueba de Welch asumiendo que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, pero no cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas

Prueba estadística	p-valor
Prueba t de Welch	1.311e-5

Ilustración 42. Concentración de CO₂ (ppm) en el punto 4 Juan Bottasso



Fuente: Autor, 2022.

La prueba de Welch realizada demuestra diferencia significativa entre los grupos de estudio ($p\text{-valor} < 0.05$), por lo tanto, debemos realizar una prueba post hoc, para verificar en qué grupos existe diferencia.

4.4.4.2 Prueba post hoc

Se realizó la prueba post hoc para verificar en que grupos de datos existe o no diferencias significativas.

Tabla 24. Prueba post hoc para el punto 4 Juan Bottasso

Grupo 1	Grupo 2	p-valor	Detalle
A	B	0.999	NS
A	C	0.000149	S
A	D	0.996	NS
A	E	0.999	NS
B	C	0.000365	S
B	D	1.00	NS
B	E	1.00	NS
C	D	0.000601	S
C	E	0.000344	S
D	E	1.00	NS

*S: Significativo, NS: No significativo

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que existe diferencia significativa entre los grupos A-C, B-C, C-D y C-E además se muestra que el grupo de datos A-B, A-D, A-E, B-D, B-E, y D-E, estadísticamente son iguales al no existir diferencia significativa.

4.5 Análisis entre edificios

Los datos están agrupados por espacio físico donde se ha realizado el muestreo: E. Biblioteca, E. Cornelio Merchán, E. Guillermo Mensi, E. Juan Bottasso.

Tabla 25. *Calculo estadísticos de la media, mediana y desviación estándar entre los puntos de muestreo de 6hoo a 21hoo*

Grupo de datos	Media	Estadígrafo	
		Mediana	Desviación estándar
E. Biblioteca	293.67	296.92	67.06
E. C Merchán	244.88	244.71	56.60
E. G Mensi	260.39	266.21	72.38
E. J Bottasso	328.46	330.02	64.07

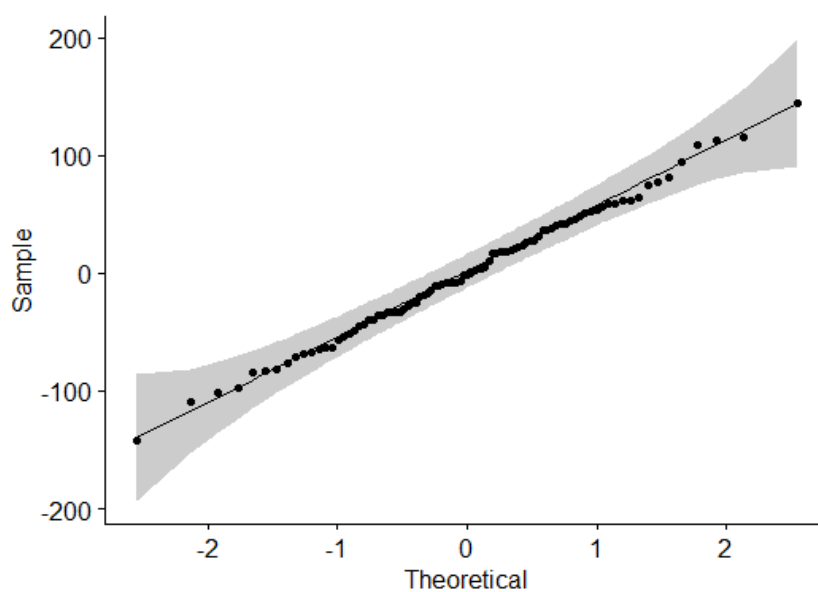
Fuente: Autor, 2022.

No existen valores extremos

Pruebas de normalidad y homogeneidad.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos, obteniendo lo siguiente:

Ilustración 43. *Pruebas de Normalidad y Homogeneidad para todos los puntos de muestreo.*



Fuente: Autor, 2022.

Tabla 26. Prueba Shapiro-Wilk normality test entre todos los puntos de muestreo

Prueba	Grupo de datos	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	E. BIBLIOTECA (P.3)	0.725
	E. C. MERCHAN (P.2)	0.491
	E.G. MENSI (P1)	0.603
	E._J. BOTTASSO (P4)	0.975

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que todos los valores de los grupos de datos cumplen con el supuesto de normalidad ($p\text{-valor} > 0.05$)

Prueba de homogeneidad

Para el cálculo de la homogeneidad se lo realizó con la prueba de Bartlett test, para datos paramétricos.

Prueba paramétrica	p-valor
Bartlett test of homogeneity of variances	0.1345

Fuente: Autor, 2022.

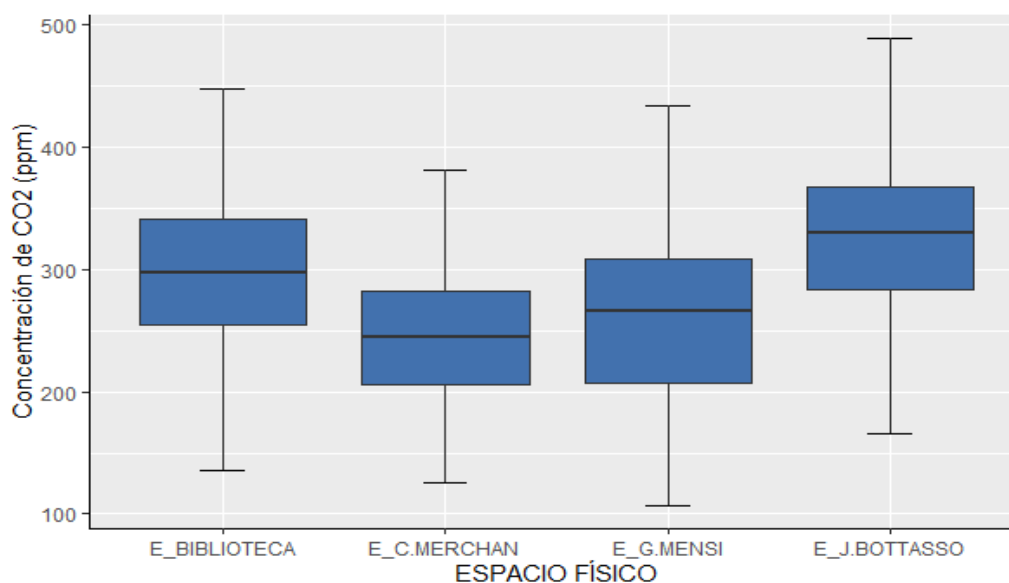
Se evidencia que si cumple con el supuesto de homogeneidad ($p\text{-valor} > 0.05$).

ANOVA

Se realizó un ANOVA asumiendo que los datos cumplen con el supuesto de normalidad y de homogeneidad de varianzas.

Prueba estadística	p-valor
ANOVA	4.67e-17

Fuente: Autor, 2022.

Ilustración 44. Concentración de CO₂ (ppm) para los 4 puntos de muestreo.

Fuente: Autor, 2022.

El ANOVA realizado demuestra diferencia significativa entre los grupos de estudio (p -valor < 0.05), por lo tanto, debemos realizar una prueba post hoc, para verificar en que grupos existe diferencia.

Prueba post hoc

Se realizó la prueba post hoc para verificar en que grupos de datos existe o no diferencias significativas.

Tabla 27. Prueba post hoc de los 4 puntos de muestreo.

Grupo 1	Grupo 2	p-valor	Detalle
E. BIBLIOTECA	E. C. MERCHAN	4.36e-6	S
E. BIBLIOTECA	E.G. MENSI	3.63e-3	S
E. BIBLIOTECA	E. J. BOTTASSO	2.09e-3	S
E. C. MERCHAN	E. G. MENSI	3.78e-1	NS
E.C. MERCHAN	E. J. BOTTASSO	0.00	S
E.G. MENSI	E. J. BOTTASSO	5.69e-11	S

*S: Significativo, NS: No significativo

Fuente: Autor, 2022.

Se muestra que existe diferencia significativa entre los grupos A-C, B-C, C-D y C-E además se muestra que el grupo de datos A-B, A-D, A-E, B-D, B-E, y D-E, estadísticamente son iguales al no existir diferencia significativa.

4.6 Inferencia de las especies

De la experimentación ensayada se infiere que las orquídeas como organismos vivos son un gran referente de captura de carbono, además contribuyen a la belleza estética de las obras civiles, sin embargo, los dispositivos electrónicos (sensores de dióxido de carbono) al registrar la concentración de este gas resultan una gran herramienta fácil de manipular, que resulta útil para llevar a cabo monitoreos de manera eficaz.

Desde el punto de vista metodológico resulta interesante complementar estos dos métodos de monitoreo de gases contaminantes, no obstante, hay que considerar los fines de cada investigación debido a que los sensores tienen la función de registrar la concentración de dióxido de carbono, mientras que las orquídeas capturan este gas y para determinar aquello se utiliza un método destructivo, siendo esto un proceso más complejo.

Económicamente hablando los sensores tienen un valor más alto en comparación a las orquídeas, sin embargo, resultan más eficaces ya que nos arrojan datos de manera inmediata para estudios y análisis.

Las orquídeas serán claves para estudiar el cambio climático a nivel mundial, ya que son sumideros de carbono natural y de esta manera pueden brindarnos información útil a la hora de planificar el desarrollo desde el punto de vista ambiental económico y social a nivel local, regional y nacional.

4.7 Propuesta

Propuesta ambiental de implementación de orquídeas como bioindicadores de cambio climático para la UPS sede cuenca

La siguiente propuesta consta de dos medidas a ser implementadas en beneficio de la comunidad universitaria en base a los resultados obtenidos en la presente investigación, en cuanto a la captura de carbono en las orquídeas y el registro obtenido en los sensores de CO₂.

Medida 1: La implementación de un micro invernadero de orquídeas será un aporte importante en la comunidad universitaria debido que serviría como un lugar de enseñanza, conservación e investigación, además de ser especies importantes que ayudan a secuestrar gases de efecto invernadero como el carbono y de esta manera contribuyen a disminuir el acelerado cambio climático que hoy en día es evidente.

Dicha propuesta surge en base a los resultados obtenidos, a través de los análisis realizados en laboratorio donde se determina la capacidad que estas especies tienen para fijar carbono debido a su proceso natural fotosintético, la medida propuesta está basada en el modelo exitoso de micro invernadero establecido en el jardín botánico de la ciudad de Cuenca (ver ilustración 45).

Ilustración 45. *Modelo de micro invernadero de orquídeas.*



Fuente: Jardín Botánico de Cuenca

El lugar donde se propone la colocación de esta medida es en los edificios donde se realizó el experimento (ver ilustración 46), puesto que esto servirá como un centro de investigación para estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental y afines, el cual también se verá estéticamente agradable, por ellos se insta a las autoridades permitan el acceso de los estudiantes con fines académicos.

Ilustración 46. *Vista panorámica de los edificios a implementar la propuesta*



Fuente: Autor, 2022.

El presupuesto referencial para dicha medida está alrededor de USD 8000 (ocho mil dólares americanos con 0/100), debido a que está contemplado que cuente con un área total de 90m², con una base de concreto, además contará con un armado de estructura metálica, un techo de policarbonato corrugado color blanco considerando el aspecto estético, también se implementarán lámparas tipo led y un sistema de riego automatizado para mantener un riego controlado para las especies de orquídeas que serán implementadas

Medida Propuesta	Objetivos	Responsables	Medio de Verificación	Presupuesto	Plazo
Implementación de un micro invernadero de orquídeas en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.	<p>Implementar un sumidero de carbono natural mediante un microsistema de orquídeas en pro de lucha contra el cambio climático.</p> <p>Crear un centro de investigación en beneficio de la comunidad universitaria para futuras investigaciones.</p> <p>Implementar un área verde estéticamente agradable para la comunidad universitaria.</p>	<p>Vicerrectorado de sede.</p> <p>Carrera de Ingeniería Ambiental</p> <p>Tesista</p>	<p>Registro fotográfico.</p> <p>Registro de facturas de adquisición de material y especies de orquídeas.</p>	\$8.000,00	6 meses

Tabla 28. *Implementación de un micro invernadero de orquídeas en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana*

Medida 2: El monitoreo de gases contaminantes mediante sensores, resulta una alternativa eficaz y eficiente debido a que el registro de datos puede ser programado de acuerdo al tiempo que se considere necesario, considerando que medir las fluctuaciones de los gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos resulta esencial para determinar tanto el cambio climático como los riesgos para la salud pública. Las innovaciones en materia de sensores que aprovechan la tecnología podrían dar paso a una nueva era en la supervisión, siendo esto un punto de partida para que las autoridades competentes tomen decisiones en beneficio de la sociedad.

Se considera proponer esta medida en base al experimento realizado en la presente investigación, el cual ha sido posible programar y registrar la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera considerando los puntos estratégicos dentro de la Universidad Politécnica Salesiana. El lugar que se propone para la implementación de este sensor es en el edificio de la biblioteca puesto que en este punto se pudo determinar una mayor concentración de CO₂ el cual es un lugar cercano al estacionamiento y taller de mecánica.

Ilustración 47. *Vista panorámica del edificio a implementar la propuesta*



Fuente: Autor, 2022.

El presupuesto referencial para la medida 2 está alrededor de USD 5000 (Cinco mil dólares americanos con 0/100), debido a que está contemplado la adquisición de partes necesarias para que el sensor funcione como; Arduino UNO R3, Data Logging Shield, pilas de reloj CR1220, cables JUMPERS, cargador tipo fuente de 5V, tarjeta Sd y Micro Sd para el almacenamiento de datos y librería de sonda para programar la toma de datos que faciliten la interconexión de los sensores.

Tabla 29. *Propuesta de Implementación de sensores medidores de CO2 en los espacios interiores de la Universidad Politécnica Salesiana.*

Medida Propuesta	Objetivos	Responsables	Medio de Verificación	Presupuesto	Plazo
Implementación de sensores medidores de CO2 (MG 811), en los espacios interiores de la Universidad Politécnica Salesiana.	Implementar un sistema de monitoreo de la concentración de CO2 en los interiores de la Universidad Politécnica Salesiana. Establecer una base de datos en base a los registros de los sensores para futuras investigaciones y/o toma de decisiones para la mejora del bienestar de la comunidad universitaria.	Vicerrectorado de sede. Carrera de Ingeniería Ambiental Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización. Tesista	Registro fotográfico. Registro de facturas de adquisición de material y especies de orquídeas.	\$5.000,00	6 meses

Fuente: Autor, 2022.

5. Discusión

En esta investigación se encontró una mayor concentración de CO₂ de 9 de la mañana a 3 de la tarde, lo que puede estar asociado al aumento de la temperatura en la corteza terrestre y los gases ascienden a las terrazas, las cuales mostraron diferencias en su altura. Diferenciando con lo que postula de (Hernández, 2019) dio a conocer que las variables higrotérmicas (temperatura y humedad relativa) no muestran tuvieron influencia en las concentraciones de CO₂ mientras que el tipo de vegetación existente si influyó en la captura de carbono, por el contrario, el monóxido de carbono (CO) si presentó una relación estrecha con la temperatura, puesto que este gas fue afectado por esta variable climática.

En lo que respecta a las características fotosintéticas de las orquídeas estudiadas estas 3 especies mostraron similitudes por su proceso natural no existió diferencias en la cantidad de carbono capturado. Por el contrario el estudio de (Lee, Hyun, & Yoo, 2018) hallaron que las características fotosintéticas de la orquídea en plantas cultivadas a 450 (control ambiental), 800 y 1600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ durante 36 semanas, tras una elevada concentración de CO₂ incrementó el número de hojas, sin embargo, la envergadura y la biomasa de las hojas fue menor en las plantas que crecieron bajo las concentraciones más altas de CO₂ en comparación con las plantas que crecieron bajo el CO₂ ambiental.

Los autores (Carvajal, Rodríguez, & Avila, 2017) estudiaron la captura de C y CO₂ en especies *Pentalinon luteum* y *Clitoria ternatea*, se halló que ambas capturan cantidades similares de carbono, sin embargo, se especificó que en la primera la raíz y el tallo capturan más CO₂ (60% y 25%, respectivamente), mientras que en la *Clitoria ternatea* el tallo y la hoja capturan más de este contaminante (44% y 26%, respectivamente). En promedio, la especie *Pen-talinon lutem* captura 471.38 g de CO₂ durante un año y medio, la especie *Clitoria Ternatea* captura (263 g de CO₂) en seis meses, estos resultados

representan un aporte significativo para el cuidado al medio ambiente enfatizando la importancia de las fachadas vegetales con especies de trepadoras. Mientras que en el experimento llevado a cabo en las terrazas de la UPS Cuenca, el promedio de captura de carbono fueron los siguientes, en el edificio Guillermo Mensi capturaron una total de 2,047 Kg de C, edificio Cornelio Merchán 2,014 Kg de C, edificio Biblioteca 2,055 Kg de C y el edificio Juan Bottaso 2,097 Kg de C.

Los autores (Rezawana, Ahmed, & Hossainb, 2021) implementaron un estudio para la captación de carbono en terrazas en 20 edificios hallando que existe una variación de temperatura entre los edificios con techo verde y con techo desnudo, mediante el estudio de parámetros como: temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del aire de todos los pisos y techos de los edificios seleccionados, hallaron que el secuestro de carbono anual en los techos verdes osciló entre 20,6 tC/ha y 125,4 tC/ha, mientras que el CO₂ equivalente osciló entre 84 y 460 t/ha. En contraste con lo que mencionan los autores (Rezawana, Ahmed, & Hossainb, 2021), en las 4 terrazas de la Universidad Politécnica Salesiana se hallaron que el secuestro de carbono durante las ocho semanas de muestreo en las orquídeas fue de; 2,047 Kg de C en el edificio Guillermo Mensi, 2,014 Kg de C, edificio Cornelio Merchán, 2,055 Kg de C, edificio Biblioteca y 2,097 Kg de C, en el edificio de Juan Bottaso.

6. Conclusiones

- Los niveles de carbono encontrados en la biomasa analizando las diferentes especies de orquídeas como son *Cymbidium clarisse* “*Pink Ice*”, *Cymbidium Clarisse* “*Best Pink*”, y *Cymbidium bicolor*), ubicados en los puntos de análisis, alcanzan los siguientes valores; en el edificio Guillermo Mensi capturaron una total de 2,047 Kg de C, edificio Cornelio Merchán 2,014 Kg de C, edificio Biblioteca 2,055 Kg de C y el edificio Juan Bottaso 2,097 Kg de C.
- En base al análisis estadístico se determinó que la mayor concentración de CO₂ medido con los sensores Mg811 de dióxido de carbono, en los cuatro puntos de análisis está comprendida en un rango de 9h00 a 15h00, de acuerdo a la gráfica obtenida con la prueba de Shapiro-Wilk dentro del estudio de normalidad y homogeneidad, sin embargo, estos valores no se consideran como extremos, de acuerdo al Anova.
- Aplicado los dispositivos electrónicos durante las ocho semanas de muestreo indican que el mayor registro de dióxido de carbono fue en el edificio de la Biblioteca con 293,67 ppm, frente al menor del edificio Juan Bottaso con 328,46 ppm, los otros valores del edificio Guillermo Mensi y Cornelio Merchán son intermedios.
- De la experimentación ensayada se determina que las especies de orquídeas aplicadas funcionan con indicadoras biológicas de cambio climático, porque tienen la capacidad de fijar carbono y dióxido de carbono y a la vez aportan a la belleza estética de los edificios.

7. Recomendaciones

- Se recomienda que se implemente un programa de educación ambiental, por parte de las instituciones educativas y sobre todo de estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental y a fines, donde se logre incentivar a la población en general a implementar en sus hogares diferentes especies de orquídeas, que además de su belleza natural estas se convierten en un aporte importante para la fijación del carbono.
- Es importante mencionar que se realicen más estudios de las especies de orquídeas como indicadoras de cambio climático ya que estas se convierten en sumideros naturales de carbono, a través de prácticas amigables para su reproducción, conservación y adaptación se insta a las instituciones gubernamentales competentes como el MAATE (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica), Gobiernos descentralizado del cantón Cuenca, y autoridades de centros educativos para que en conjunto se puedan plasmar proyectos que vayan encaminados al beneficio de la sociedad y del planeta
- Se recomienda se considere la vinculación e interacción de las diferentes carreras universitarias a fines de desarrollar proyectos e investigaciones completas, como en este caso que fue de vital importancia el aporte electrónico para la programación de los sensores el cual tuvo los resultados esperados.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en los sensores se recomienda que estos dispositivos electrónicos sean colocados en sitios donde la precipitación no sea directa, puesto que son muy sensibles y podrían afectar el registro de datos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, B. (2020). No Title. Retrieved from Orquídea Cymbidium: cuidados website: <https://www.ecologiaverde.com/orquidea-cymbidium-cuidados-2443.html>
- Alvarado, J. (2016). *Agricultura Urbana la Universidad Politécnica Salesiana en la sede Cuenca y su aporte al cambio climático*.
- Arévalo Moscoso, R. O. (2018). La Industria y sus efectos en el Cambio climático global. *Reciamuc (Revista Científica de Investigación Actualización Del Mundo)*, 2, 595–611. <https://doi.org/10.26820/reciamuc/2.2.2018.595-611>
- Arroyo, M., & Ramírez Monroy, A. (2020). *Dióxido de Carbono, sus dos caras*. 116(2), 81–87. Retrieved from www.rseq.org82
- Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? In *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Informe sobre el impacto económico en América Latina y el Caribe de la enfermedad por coronavirus (COVID-19): estudio elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) e (Naciones U)*. Retrieved from https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/45677/S1900711_es.pdf
- Barros, V. (2005). *El cambio climático global* (2da edición; O. Kulesz, Ed.). Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hxIjOfHB11oC&oi=fnd&pg=PA7&dq=cambio+climático+global&ots=L5JxprHoVX&sig=-z0TxiG7rFffWjpp4LKKgdb8C8A#v=onepage&q&f=true>
- Bonilla, L. (2019). *Orquídeas en el Noroccidente de Quito, Reserva Geobotánica Pululahua*. 64. Retrieved from <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2215/1/UISRAEL-EC-DIS-378.242-2019-035.pdf>
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. The soil organic carbon and its role on climate change. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82–96.
- Bustos, E. S., & Vicuña, S. D. (2016). Decision making and adaptation processes to climate change. *Ambiente e Sociedade*, 19(4), 215–234. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOCEX0004V1942016>
- Calderón, A., Soto, F., Calderón, M., & Fundora, L. R. (2009). ESTIMACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN POSTURAS DE MANGO (*Mangifera indica* L.) Y AGUACATERO

- (*Persea* spp) EN FASE DE VIVERO A PARTIR DE LAS MEDIDAS LINEALES DE LAS HOJAS. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 43–48. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217899007.pdf>
- CEPSA. (2015). El cambio climático y los gases de efecto invernadero. *Dossier CEPSA Dirección de Comunicación CEPSA*, 14. Retrieved from https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio Ambiente_Seguridad_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Conde, C., Pabón, D., & Sánchez, R. (2013). Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. *La Importancia de La Información Climática Para La Planificación Del Crecimiento y El Desarrollo Urbano*, 160. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/S2013813_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Conde, C., & Saldaña, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe : Impactos , vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23(2), 23–30.
- Cox Tamay, L. D., Ruiz Cruz, J. Y. S., & Pérez García, E. A. (2020). Diversidad y uso de las orquídeas. *Bioagrocencias*, 9(1), 1–6.
- Díaz Cordero, G. (2012). Climate Change. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII, 467–475. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373932-2.00344-6>
- Dilas, Josue; Huamán, A. (2020). Carboncapture by a mountain cloud forest in Perú. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 1, 2–14. Retrieved from <http://www.journalalphacentauri.com/index.php/revista/article/view/16/19>
- Electrostore. (2019). SENSOR DE CO2 MG-811 DIOXIDO DE CARBONO. Retrieved from Catálogo de productos website: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/gas/sensor-de-co2-mg-811-dioxido-de-carbono/>
- Ezquiaga Domínguez, J. M. (2010). *Estrategias de adaptación y mitigación del Cambio Climático en planificación espacial. Selección y análisis de buenas prácticas y formulación de criterios de aplicación en el planeamiento territorial y urbanístico del la CAPV*. 54. Retrieved from https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/cambio_climatico_2011/es_clima/adjuntos/2011/conclusiones.pdf
- Fonseca-González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91–109. Retrieved from <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/9481>
- Gaudiano, E. J. G., & Cartea, P. A. M. (2020). Educación para el cambio climático ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), 157–174. <https://doi.org/10.22201/IISUE.24486167E.2020.168.59464>

- Gerard, J. (2009). El cambio climático como problema y el diálogo social como solución. *Investigaciones Geográficas*, 125–160. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/176/17620925005.pdf>
- González-Gaudiano, E. J. (2012). La Representación Social Del Cambio Climático. *Revista Mexicana de ...*, 17(55), 1035–1062. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=14056666&AN=91024841&h=ggWq38GH8AwhJOVejjIkcI2TkoWM4C17gE7AY4mf4uXevF/pl66MmR12pU80VXNn09w6g9HwXlxQs72foYmrRw==&crl=c>
- González, E. D. R. S. (2014). *Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil*. 30(3), 235–245. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n3/v30n3a1.pdf>
- Gutiérrez, D., Navarrete, G., & Espín, C. G. (2014). Orquídeas de la Amazonía Ecuatoriana: maravillas escondidas en las montañas Andino - Amazónicas. *Huella Se Sumaco*, 11, 27–30. Retrieved from https://www.uea.edu.ec/wp-content/uploads/2018/07/vol_11_articulo_5.pdf
- Hoffman, B. (2019). No Title. Retrieved from Cymbidium Orquídea website: <https://www.alamy.es/cymbidium-orquidea-pink-ice-image263753649.html>
- Huamaní H., D., & Denís. (2016). Distribución altitudinal de orquídeas terrestres como indicador del cambio climático en el Cerro Uyuca. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*.
- Huarte Rubio, J. (2021). Development of a low-cost meter for the level of CO2 in the air. *Universidad de Zaragoza*, 1–79. Retrieved from <https://zaguan.unizar.es/record/112622/files/TAZ-TFG-2022-641.pdf>
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2013: bases de la ciencia física. *Livestock Research for Rural Development*, 2. Retrieved from https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf
- IPCC. (2014b). CAMBIO CLIMATICO 2014 Informe Del Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático. In *Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC. (2017). *El IPCC Y El Sexto Ciclo De Evaluacion*. 4(1), 75–84. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/AC6_brochure_es.pdf
- IPCC. (2020). El cambio climático y la tierra. In *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Jímenez, & Landeta. (2009). *Produccion de biomasa y fijacion de carbono en*

- plantaciones de teca (Tectona grandis Linn F.) en la Espol Campus "Ing. Gustavo Galindo."* 109. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10314/1/D-42166.pdf>
- Jiménez León, M. (2014). Orquídeas del Ecuador-Número de especies, endemismo, especies amenazadas y su manejo adecuado. *Actualidad*, (August), 3. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Marco-Jimenez-13/publication/268632113_Orquideas_del_Ecuador-Numero_de_especies_endemismo_especies_amenazadas_y_su_manejo_adecuado/links/5488bb5f0cf2ef344790a3e7/Orquideas-del-Ecuador-Numero-de-especies-endemismo-espec
- Josep Peñuelas, Santi Sabaté, I. F. Y. C. G. (2004). CAPÍTULO 15 Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación , experimentación y simulación *. In *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Retrieved from https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/cap15_-_efectos_del_cambio_climatico_sobre_los_ecosistemas_terrestres_observacion_experimentacion_y_simulacion.pdf
- Juárez, L. (2013). Subfamilia Epidendroideae Género Cymbidium. *INECOL*. Retrieved from https://inecol.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1005/13/1/6556_2013-10209.pdf
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramirez, J. (2013). Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. *CIAT - Centro Internacional de Agricultura Tropical*, 1, 4. Retrieved from http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/02/politica%7B_%7Dsintesis1%7B_%7Dcolombia%7B_%7Dcambio%7B_%7Dclimatico.pdf
- Magrin, G. O. (2015). Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. *Cepal*, 15, 80. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842%0Ahttp://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Martín-chivelet, J. (2010). Carbon Cycle and Climate: the geological perspective Fundamentos Conceptuales y didácticos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 2010, 1–14. Retrieved from <https://eprints.ucm.es/id/eprint/33310/1/200083-267667-1-PB.pdf>
- Martinez, J. (2004). Cambio Climático: Una visión desde México. In I. 968-817-704-0 (Ed.), *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología*. (Instituto, Vol. 4). Retrieved from https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio_Climatico_una_vision_desde_Mexico.pdf#page=27
- Mcnew, David; Ruffing, G. (2018). Guía práctica sobre el cambio climático. Retrieved from <https://www.aarp.org/espanol/politica/historia/info-2021/como-te-afecta-el-cambio-climatico.html>

- Ministerio del Ambiente. (2010). Plan de Acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático. *Sistema Nacional de Información Ambiental*, 53(9), 152. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-accion-adaptacion-mitigacion-frente-cambio-climatico>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Chile. *Gobierno de Chile, S.N.(S.N.)*, 1–55. Retrieved from <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>
- Moreno, D., & Guerrero, L. (2020). *Análisis comparativo de los niveles de medición de CO₂ entre dos medidores con base a los datos tomados en el parqueadero subterráneo del edificio Pinar del Llano Villavicencio-Meta*. 95. Retrieved from http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4839/1/2020_2_TG_CASTAÑEDA_GUERRERO..pdf
- OMC. (2019). El CERMI traslada a la ONU que las consecuencias del cambio climático son “aún más devastadoras” para las personas con discapacidad. Retrieved from Organización Médica Colegial de España website: <http://www.medicosypacientes.com/articulo/el-cermi-traslada-la-onu-que-las-consecuencias-del-cambio-climatico-son-aun-mas>
- Oña, C. (2020). *Germinación asimbiótica en condiciones in vitro de Oncidium pentadactylon y Elleanthus capitatus: orquídeas nativas del Ecuador*. Retrieved from <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8769/1/146094.pdf>
- ONU. (2013). United Nations Climate Change Portal. *Choice Reviews Online*, 50(07), 50-3868-50–3868. <https://doi.org/10.5860/choice.50-3868>
- ONU. (2021). Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París (Glasgow 2021). *Convención Marco Sobre El Cambio Climático*, 16697, 1–12. Retrieved from file:///C:/Users/W7/Desktop/ufc.pdf%0Ahttps://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L16S.pdf
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3–12. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Parada, N. (2017). TECNOLOGÍA DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN SECTORES INDUSTRIALES. *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL*, (1), 43. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pérez, F., & Rojo, A. (2013). Cálculo del área foliar mediante técnicas basadas en el análisis RGB-HSB. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 3(January 2016), 65–76. Retrieved from

<https://www.researchgate.net/publication/290589873%0ACálculo>

- Rodríguez De Luque, J. J., González Rodríguez, C. E., Gourджи, S., Mason-D'croz, D., Obando-Bonilla, D., Mesa-Diez, J., & Prager, S. D. (2016). Socio-economic impacts of climate change in latin america and the caribbean: 2020-2045. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(78), 11–34. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-78.iscc>
- Rodríguez, G. A. R. (2016). *Aportaciones al conocimiento de las orquídeas del Bosque Seco Tropical y escenarios de cambio climático en Colombia*. 276.
- Rodríguez Mirano, J., & Vértiz-Osores, J. J. (2021). Confluencia entre los ecosistemas forestales y el conocimiento científico frente al cambio climático: Marco legal peruano. *Nexo Revista Científica*, 34(06), 1575–1588. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i06.13118>
- Rubiano, J. otros. (2013). *Distribución espacial de orquídeas y cambio climático en el Bosque Seco en Colombia y su aplicación como estrategia regional de conservación para el Valle del Cauca*. Retrieved from <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/11095>
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2008). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. In *Consortio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)*. Retrieved from http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf
- Sánchez-R, M., & Riosmena, F. (2021). Cambio climático global , ecología política y migración. *Revista de Estudios Sociales*, 2–6. Retrieved from <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/epub/10.7440/res76.2021.01>
- Users, J. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98. Retrieved from [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/PDF TESIS STALIN/Dialnet-ElCambioClimatico-4817473.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/PDF%20TESIS%20STALIN/Dialnet-ElCambioClimatico-4817473.pdf)
- Vargas Marcos F, & Ruiz de Adana M. (2021). Medidores de dióxido de carbono (co2) y ventilación. *Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra*, 3(2), 2–22. Retrieved from <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/B4807750-8314-45A0-9768-64D22181DBD7/471579/MEDIDORESDECO2YVENTILACIONV3.pdf>
- Vélez, A. (2015). Causas De La Recuperación Del Sector Camaronero En El Ecuador: 2014. (*Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil*), 121. Retrieved from [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/9374/1/Tesis - Gabriela Vélez 2.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/9374/1/Tesis%20-%20Gabriela%20Vélez%202.pdf)
- Vílchez Oscco, R. (2020). “Diversidad de orquídeas como estrategia preliminar de conservación del bosque Montano De Mayunmarka – Ayacucho – 2020.” *Universidad César Vallejo*, 94. Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

9. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos (Tabla de valores de Pesos y porcentaje de Biomasa)

Puntos de Muestreo	Especies	Peso verde	Peso Seco	% Biomasa seca
E. Guillermo Mensi	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	0,19
E. Cornelio Merchán	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,020	0,20
E. Biblioteca	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,020	0,20
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	0,18
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,017	0,17
E. Juan Bottasso	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,016	0,16
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,019	0,19
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	0,19

Anexo 2. Cantidad total de C y CO2 en cada especie de Orquídea

Puntos de Muestreo	Especies	Peso verde (Kg)	Peso Seco (Kg)	MS muestra	Cantidad C(Kg)	Cantidad CO2 Kg
E. Guillermo Mensi	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	1,389	0,694	2,549
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	1,389	0,694	2,549
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	1,316	0,658	2,414
E. Cornelio Merchán	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,018	1,389	0,694	2,549
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	1,389	0,694	2,549
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,020	1,250	0,625	2,294
E. Biblioteca	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,020	1,250	0,625	2,294
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,018	1,389	0,694	2,549
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,017	1,471	0,735	2,699
E. Juan Bottasso	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,100	0,016	1,563	0,781	2,867
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,100	0,019	1,316	0,658	2,414
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,100	0,019	1,316	0,658	2,414

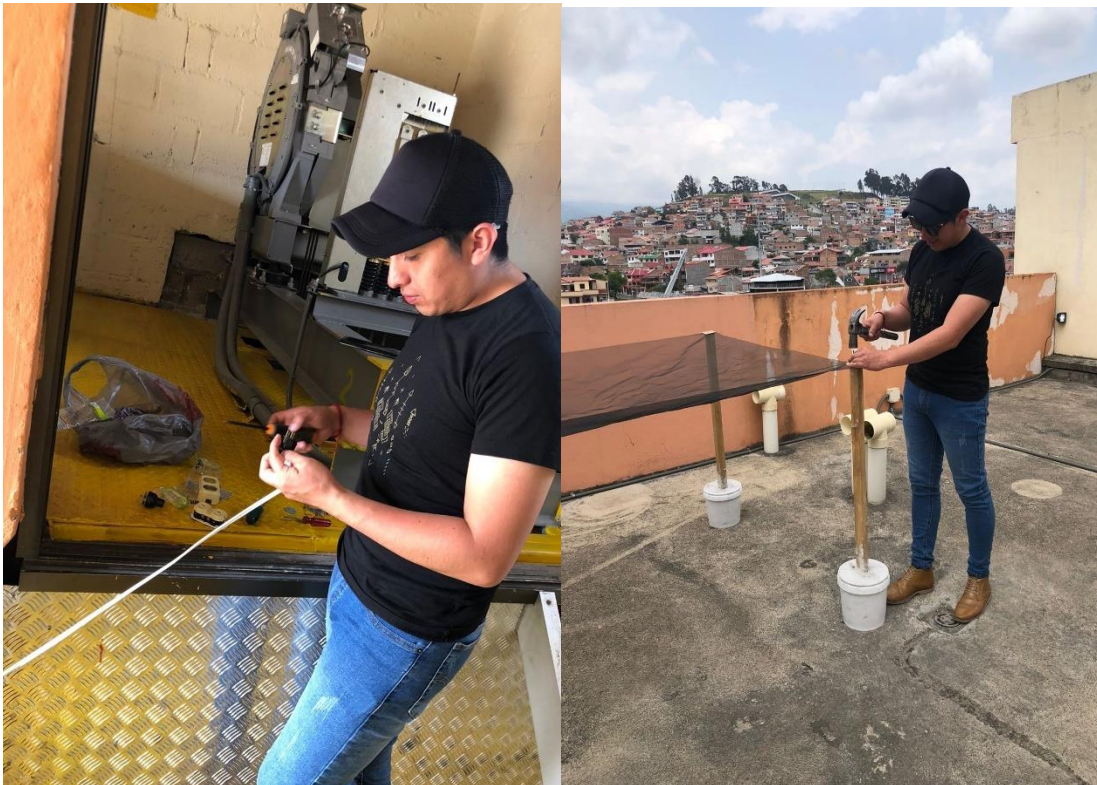
Anexo 3. Cantidad de C en cada especie de orquídea y Cantidad de C por punto de muestreo.

Puntos de Muestreo	Especies	(C) por especie de orquídea	Cantidad C (kg) por punto de muestreo
E. Guillermo Mensi	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,694	2,047
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,694	
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,658	
E. Cornelio Merchán	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,694	2,014
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,694	
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,625	
E. Biblioteca	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,625	2,055
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,694	
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,735	
E. Juan Bottasso	<i>Cymbidium Clarisse Best Pink</i>	0,781	2,097
	<i>Cymbidium Best Pink</i>	0,658	
	<i>Cymbidium Bicolor</i>	0,658	

Anexo 4. Cantidad de CO₂ en cada especie de orquídea y cantidad de CO₂ en cada punto de muestreo.

Puntos de Muestreo	Especies	CO ₂ por especie de orquídea	(CO ₂) por punto de muestreo
E. Guillermo Mensi	Cymbidium Clarisse Best Pink	2,549	7,512
	Cymbidium Best Pink	2,549	
	Cymbidium Bicolor	2,414	
E. Cornelio Merchán	Cymbidium Clarisse Best Pink	2,549	7,391
	Cymbidium Best Pink	2,549	
	Cymbidium Bicolor	2,294	
E. Biblioteca	Cymbidium Clarisse Best Pink	2,294	7,541
	Cymbidium Best Pink	2,549	
	Cymbidium Bicolor	2,699	
E. Juan Bottasso	Cymbidium Clarisse Best Pink	2,867	7,696
	Cymbidium Best Pink	2,414	
	Cymbidium Bicolor	2,414	

Anexo 5. Fase de Campo; Adecuación del área de estudio e instalación eléctrica



Anexo 6. *Colocación de orquídeas y sensor en los 4 puntos de muestreo.*



Anexo 7. Toma de datos semanales de las especies de orquídeas y de los sensores



Anexo 8. Toma de Muestras de las especies en estudio debidamente etiquetadas



Anexo 9. Secado de todas las muestras (Peso Verde) en una estufa a una temperatura de 70°C



Anexo 10. Pesado de las muestras secas (Peso seco) de todos los puntos de muestreo.

