



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Metodología para evaluar gases de efecto invernadero en agroecosistemas ganaderos

Fausto Camilo Moreno Vásquez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Doctorado en Agroecología
Bogotá D.C., Colombia
2018

Metodología para evaluar gases de efecto invernadero en agroecosistemas ganaderos

Fausto Camilo Moreno Vásquez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Agroecología

Director:
Ph.D., Yolanda Rubiano Sanabria

Línea de Investigación: Agricultura y Medio Ambiente

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Doctorado en Agroecología
Bogotá D.C., Colombia
2018

“El enfoque de Técnicas de Análisis de Funciones Sistémicas, rompe la inercia psicológica que a menudo reprime la creatividad en la resolución de problemas; incorpora la lógica relacionada con paradigmas estructurales y la pone en una forma que se utiliza intuitivamente. Es un trabajo de referencia en el campo de la resolución de problemas con creatividad”.

Martin Hyatt

A mi Zilia Norha y para Fausto Camilo,
sin los cuales no hubiese sido posible.

Para ellos.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia y AGROSAVIA, que permitieron el desarrollo de este trabajo; a Nubia Rodríguez y Jaime Bernal, por su apoyo incondicional en el trabajo, y muy especialmente a la profesora Yolanda Rubiano, por todo su apoyo, conocimiento y permanente guía para el desarrollo de la investigación, discusión de conceptos y enseñanzas.

Resumen

El análisis de los GEI se debe hacer desde el enfoque sistémico, considerando la emisión de gases de la finca ganadera, como un conjunto de elementos que interactúan para generar una serie de salidas. La propuesta metodológica, adaptada de la teoría del Conocimiento Profundo, se fundamenta en la agroecología como ciencia, e incorpora como elemento transversal, la técnica *Eddy Covariance* para la captura de información, que se analiza a la luz del agroecosistema ganadero a través de los métodos estadísticos de extracción de conocimiento *KDD* y *CRISP-DM*; modelo que sirve de marco referencial frente a problemas complejos, como lo son la dinámica, efectos e impactos de los GEI en términos de la estructura y función de los agroecosistemas. El trabajo se desarrolló en el CI La Libertad y tenía como objetivo general, proponer una metodología para evaluar GEI en agroecosistemas ganaderos, con los siguientes objetivos específicos: 1) Desarrollar un protocolo metodológico que permita estimar y evaluar mediante el uso de la técnica *Eddy Covariance* el efecto de gases efecto invernadero (CO_2) derivados de las interacciones en un agroecosistema ganadero y 2) Identificar y seleccionar los métodos de análisis de datos derivados de la aplicación de la técnica *Eddy Covariance* a la extracción de conocimiento para la comprensión de los flujos de GEI y su aplicación en agroecosistemas ganaderos. Se utilizaron modelos gráficos Bayesianos, en particular, modelos gráficos de cópulas Gaussianas, así como análisis de conglomerados y redes neuronales artificiales. Para el periodo de tiempo analizado, se encontraron diferencias significativas entre las medias de los datos colectados durante el día y la noche. La calidad de los datos nocturnos se ven afectados por la velocidad del viento y la temperatura. A partir del resultado de la Prueba de Estacionariedad y Turbulencia, se estableció que el mejor periodo de medición comprende entre las 9:30 y las 14:30; y que es posible utilizar de forma indirecta los procesos de control de calidad para determinar el efecto de la presencia de bovinos sobre la medición de emisiones de gases cuando no se cumplen los requisitos de ubicación y distancia de la torre, usando el criterio de calidad *Spikes*. Además, para la carga animal propuesta de 2 UGG, se compararon los grupos de datos provenientes de lotes con y sin presencia de animales para la variable

flujo de CO₂ entre las 7:00 y las 17:00, sin que existieran diferencias significativas. En el agroecosistema ganadero, el valor predictivo de la evaluación de los flujos y las concentraciones de CO₂ depende de las condiciones del ambiente circundante y en especial de la inclusión de la turbulencia en el modelo predictivo; los modelos deben incluir como factores predictivos la temperatura y la velocidad del viento. Se evidenció la importancia de los efectos combinados de estas variables sobre la concentración y el flujo de CO₂, y se encontraron diferencias importantes en el *Gap filling* de la serie de tiempo de estas dos variables.

Palabras claves: Flujos Turbulentos, Sistemas de Producción Ganaderos, Emisiones de GEI, Minería de Datos

Abstract

The analysis of GHG production has to be done from a systemic perspective, considering gas emission in livestock production systems as a set of elements whose interaction yields a series of outputs. The Deep Learning theory was implemented in agroecology, incorporating as transversal element the *Eddy Covariance* technique to capture information. This information was analyzed in the framework of the livestock production system through the *KDD* and *CRISP-DM* statistical methods. A methodological approach that constitutes a framework to study complex problems such as dynamics, effects and impacts of GHG or structure and function of agro-ecosystems, was developed. The study was carried out at “La Libertad” Research Center and its general objective was to propose a methodology to evaluate GHG in livestock agroecosystems, with the following specific objectives: 1) to develop a methodological protocol that allows to estimate and evaluate by using the *Eddy Covariance* technique, the effect of GHG (CO₂) derived from the interactions in a livestock agroecosystem, and 2) to Identify and to evaluate methods of data analysis derived from the application of the *Eddy Covariance* technique to the extraction of knowledge for the understanding of the fluxes of GHG and its application in livestock agroecosystems. Bayesian graphical models, in particular, copula Gaussian graphical models, as well as cluster analysis and artificial neural networks were used. For the analyzed time period, significant differences between the means of data collected at day and night. The quality of data collected over night is reduced by the effect of fiction

speed. Based on the Stationarity and Turbulence tests, it was found that the best time window to collect data was between 9:30 and 14:30, and that it is feasible to use in an indirect manner the quality control processes to determine the effect of bovine presence over gas emission measurement when the requisites of location and distance of the tower are not satisfied, using the *Spikes* quality measures. Moreover, for the proposed stocking rate of 2 AU, the CO₂ flux between 7:00 and 17:00 of plots with or without animals were compared, statistically significant differences were not found. In the livestock agro-ecosystem, the predictive value of the assessment of CO₂ flux and concentration depends on the surrounding environmental conditions and, specially, on the inclusion of turbulence in the prediction model. Predictive models should include temperatura and wind speed as explanatory variables. The relevance of the effects of these variables over CO₂ flux and concentration was supported by our results. In addition, remarkable differences between the *Gap Filling* quality measures of the time series of these variables were found.

Keywords: *Eddy Covariance*, Livestock Farming Systems, GHG Emissions, Data Minig

Contenido

	Pág.
Resumen	VIII
Lista de Figuras	XII
Lista de Tablas	XVII
Introducción	1
1. Marco Teórico	5
1.1 La Agroecología en el Contexto Ganadero.	5
1.2 Los Agroecosistemas Ganaderos.	8
1.3 Gases de Efecto Invernadero en Ganadería.	12
1.4 <i>Eddy Covariance</i>	16
1.4.1 El Intercambio Neto del Ecosistema.	21
1.4.2 Balance Neto de Carbono del Ecosistema	24
1.5 Metodología de Conocimiento Profundo.	27
1.5.1 Apreciación del Sistema.	34
1.5.2 Comprensión de la Variación.	38
1.5.3 Conocimiento Específico	45
1.5.4 Conocimiento frente al cambio	46
2. Materiales y Métodos	48
2.1 Localización	48
2.2 Variables	50
2.3 Torre de flujos <i>Eddy Covariance</i>	56
2.4 Control de Calidad.	64
2.5 Cálculo de Flujos.	71
2.6 Estimación de la Serie de Tiempo.	72
2.7 Análisis Estadístico	74
3. Resultados y Discusión	89
3.1 Apreciación del Sistema	89
3.2 Comprensión de la Variación	121
3.3 Conocimiento Específico	143
3.4 Conocimiento frente al Cambio	169
4. Conclusiones	176
Bibliografía	179

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1. Principales interpretaciones de la agroecología.	5
Figura 1-2. Flujo del aire en un solo punto de la torre	20
Figura 1-3. Flujo de aire en el ecosistema	21
Figura 1-4. Ciclo de carbono en el ecosistema	24
Figura 1-5. Componentes principales del Balance de Carbono Neto del Ecosistema	26
Figura 1-6. Sistema de conocimiento profundo aplicado a sistemas ganaderos	30
Figura 1-7. Mapa Conceptual. Modelo de Integración entre las metodologías EC, <i>KDD</i> y el CRISP – DM y la Teoría del Conocimiento Profundo.	32
Figura 1-8. Integración entre las metodologías EC, <i>KDD</i> y el CRISP – DM y la Teoría del Conocimiento Profundo	34
Figura 1-9. Metodología <i>CRISP-DM</i>	41
Figura 1-10. Metodología <i>KDD</i>	43
Figura 2-1. Localización del sitio experimental	49
Figura 2-2. Distribución del sitio experimental	50
Figura 2-3. Principio de instalación de la torre “ <i>Eddy Covariance</i> ”	55
Figura 3-1. Representatividad del sitio experimental.	90
Figura 3-2. Esquema del diseño de las mediciones de la torre de flujos..	91
Figura 3-3. Sistema <i>Eddy Covariance</i>	92
Figura 3-4. Análisis de velocidad ($m.s^{-1}$) y dirección del viento ($^{\circ}$), estación agrometeorológica La Libertad (1980-2012).	93
Figura 3-5. Vectores de orientación de la torre <i>Eddy Covariance</i> .	94
Figura 3-6. Área de influencia (footprint) del sistema <i>Eddy Covariance</i> .	95
Figura 3-7. Dirección predominante del viento en el área de influencia del sistema <i>Eddy Covariance</i> .	96
Figura 3-8. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura (a), humedad relativa (b), radiación solar (c) y velocidad del viento (d) durante los 161 días de la fase experimental.	98
Figura 3-9. Análisis de Cluster para las condiciones biofísicas/ambientales del agroecosistema ganadero en estudio.	100

Figura 3-10. Comportamiento de los cluster para las condiciones biofísicas/ambientales del agroecosistema ganadero en estudio.	101
Figura 3-11. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura (a), humedad relativa (b), radiación solar (c) y velocidad del viento (d) durante las 24 horas del día.	101
Figura 3-12. Variación de la media horaria de la velocidad de fricción del viento (m.s^{-1}).	103
Figura 3-13. Variación de la media horaria de la cantidad y tamaño (m) de los remolinos.	103
Figura 3-14. Variación de la media horaria de la razón de Bowen.	104
Figura 3-15. Variación de la media horaria del flujo de calor sensible (w.m^{-2}) y flujo de calor latente (w.m^{-2}).	105
Figura 3-16. Variación de la media horaria de la interpretación física de la longitud de Obukhov (m).	106
Figura 3-17. Variabilidad de la media horaria para la velocidad del viento (m.s^{-1}) en los componentes meridional (a), zonal (b) y vertical (c).	107
Figura 3-18. Captura global media horaria de datos de la torre <i>Eddy Covariance</i> .	108
Figura 3-19. Cantidad de datos eliminados por límites absolutos.	110
Figura 3-20. Cantidad de datos eliminados por valores no posibles.	110
Figura 3-21. Cantidad de datos eliminados por captura de información (Criterio del 75%).	111
Figura 3-22. Evaluación por turbulencia para la concentración de CO_2 .	112
Figura 3-23. Evaluación por estacionareidad para la concentración de CO_2 .	113
Figura 3-24. Evaluación integrada de calidad por turbulencia y estacionareidad para la concentración de CO_2 .	114
Figura 3-25. Cantidad de datos confiables en el ciclo día-noche.	116
Figura 3-26. Cantidad de datos validos para análisis por media horaria de la torre <i>Eddy Covariance</i> .	118
Figura 3-27. Relación de la cantidad de datos capturados, no capturados, analizados y eliminados para análisis por media horaria de la torre <i>Eddy Covariance</i> .	119
Figura 3-28. Cantidad de segundos válidos de datos capturados por la torre <i>Eddy Covariance</i> .	120

Figura 3-29. Dirección predominante del viento en el área de influencia del sistema <i>Eddy Covariance</i> .	121
Figura 3-30. Datos etiquetados como <i>Hard flags</i> y <i>Soft flags</i> .	122
Figura 3-31. Observaciones de baja calidad etiquetadas como <i>Hard flags</i> y <i>Soft flags</i> .	123
Figura 3-32. Observaciones de calidad aceptable etiquetadas como <i>Hard flags</i> y <i>Soft flags</i> .	125
Figura 3-33. Observaciones de calidad aceptable etiquetadas como <i>Hard flags</i> y <i>Soft flags</i> .	129
Figura 3-34. Grafo de relación en el análisis multivariado de la Copula Gaussiana.	132
Figura 3-35. Cantidad (%) de datos para el criterio <i>dropouts</i> en presencia y no presencia animal.	134
Figura 3-36. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio <i>dropouts</i> .	135
Figura 3-37. Cantidad (%) de datos para el criterio <i>higher moments</i> en presencia y no presencia animal.	136
Figura 3-38. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio <i>higher moments</i> .	137
Figura 3-39. Cantidad (%) de datos para el criterio <i>lag correlation</i> en presencia y no presencia animal.	138
Figura 3-40. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio <i>lag correlation</i> .	138
Figura 3-41. Cantidad (%) de datos para el criterio <i>amplitude resolution</i> en presencia y no presencia animal.	139
Figura 3-42. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio <i>amplitude resolution</i> .	140
Figura 3-43. Cantidad (%) de datos para el criterio <i>spikes</i> en presencia y no presencia animal.	141
Figura 3-44. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio <i>spikes</i> .	141
Figura 3-45. Puntuación y distribución resultante de la presencia animal para el criterio <i>spikes</i> , identificado como Factor Atípico Local.	142

Figura 3-46. Grafo de relación de cópula gaussiana de interacciones entre diferentes variables meteorológicas con el flujo y concentración de CO ₂ , y la presencia animal.	144
Figura 3-47. Grafos de relación de cópula gaussiana de interacciones entre la velocidad del viento en diferentes componentes, la temperatura, el flujo y concentración de CO ₂ , y la presencia animal.	145
Figura 3-48. Grafos de relación de cópula gaussiana de interacciones entre la velocidad del viento en diferentes componentes, la temperatura, precipitación, humedad, el flujo y concentración de CO ₂ , y la presencia animal.	146
Figura 3-49. Relación entre los datos capturados por los equipos Davis y LiCor respecto de la temperatura (°C) y la velocidad del viento (m.s ⁻¹).	147
Figura 3-50. Grafo de relación de cópula gaussiana de interacciones para la captura de información entre los equipos Davis y LiCor.	148
Figura 3-51. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones para los componentes del viento registrados por los equipos Davis y LiCor en el análisis de la concentración de CO ₂ .	150
Figura 3-52. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones para la temperatura registrada por los equipos Davis y LiCor en el análisis de la concentración de CO ₂ .	152
Figura 3-53. Análisis de cluster para el flujo de CO ₂ .	152
Figura 3-54. Relación de agrupamientos para la presencia animal y el flujo de CO ₂ .	153
Figura 3-55. Cantidad de datos capturados a ser estimados por calidad.	156
Figura 3-56. Comparación del flujo de CO ₂ entre las 7:00 a las 17:00 en presencia y no presencia animal.	157
Figura 3-57. Comparación de pronósticos para toda la serie de cross validation para concentración de CO ₂ .	160
Figura 3-58. Comparación de pronósticos para toda la serie respecto de la concentración de CO ₂ para la presencia animal.	161
Figura 3-59. Comparación de pronósticos para toda la serie respecto del flujo de CO ₂ para la presencia animal.	161
Figura 3-60. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones existentes entre las variables meteorológicas para el análisis de comportamiento del Flujo de CO ₂ .	164
Figura 3-61. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones existentes entre las velocidades del viento para el análisis de comportamiento del Flujo de CO ₂ .	165

Figura 3-62. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones existentes entre las temperaturas para el análisis de comportamiento del Flujo de CO ₂	166
Figura 3-63. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones existentes entre la presencia animal y las variables meteorológicas específicas.	167
Figura 3-64. Productividad Primaria Neta en las coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).	169
Figura 3-65. Coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).	170
Figura 3-66. Producción de Materia Seca de las coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).	172
Figura 3-67. Estimación del Intercambio Neto del Ecosistema (NEE) para el agroecosistema en estudio ($\mu\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$).	173

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 3-1. Huella calculada (<i>fetch</i>) (m) del sistema <i>Eddy Covariance</i> .	95
Tabla 3-2. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento durante los 161 días de la fase experimental.	99
Tabla 3-3. Tabla de contingencia de datos clasificados de acuerdo con los criterios de estacionareidad y turbulencia.	115
Tabla 3-4. Razón de Odds para la presencia de datos de calidad aceptable durante el día.	115
Tabla 3-5. Cantidad (%) de datos eliminados por criterios de límites absolutos, captura, valores y calidad, por media horaria.	117
Tabla 3-6. Cantidad (%) de datos capturados, eliminados y analizados por media horaria de la torre <i>Eddy Covariance</i> .	118
Tabla 3-7. Tabla de contingencia para los datos etiquetados como <i>soft flags</i> respecto del día.	124
Tabla 3-8. Razón de Odds para la presencia de datos etiquetados como <i>soft flags</i> respecto del día.	124
Tabla 3-9. Tabla de contingencia para los datos etiquetados como <i>hard flags</i> respecto del día.	126
Tabla 3-10. Razón de Odds para la presencia de datos etiquetados como <i>hard flags</i> respecto del día.	126
Tabla 3-11. Cantidad de observaciones (%) para los criterios de control de calidad (HF) en el preprocesamiento de información.	127
Tabla 3-12. Cantidad de observaciones (%) para los criterios de control de calidad por media horaria.	128
Tabla 3-13. Análisis de probabilidad para la detección de la presencia animal de acuerdo con los criterios de control de calidad.	130
Tabla 3-14. Cantidad de observaciones (%) de no presencia animal para los criterios de control de calidad por media horaria.	133
Tabla 3-15. Cantidad de observaciones (%) de la presencia animal para los criterios de control de calidad por media horaria.	133

Tabla 3-16. Caracterización física de los agrupamientos para la presencia animal y el flujo de CO ₂ .	154
Tabla 3-17. Comparación del flujo de CO ₂ diario en presencia y no presencia animal.	159
Tabla 3-18 Error Predictivo Cuadrático Medio para el ejercicio de <i>cross validation</i> por método.	163
Tabla 3-19. Habilidad Predictiva Modelos Bayes G-Sel.	168

Introducción

El análisis de los agroecosistemas ganaderos en la actualidad, se fundamenta en una visión reduccionista orientada a sus componentes; analítica de los elementos simples y de forma independiente, que busca entender el fenómeno completo a través de integrar la descripción de cada una de las partes por separado, dejando de lado las implicaciones propias del fenómeno de la complejidad y las interacciones (Checkland, 2000; Paleologos *et al.*, 2017; Ramírez, 2002; Vela *et al.*, 2010; Wadsworth, 1997). Esta crítica a la disciplinariedad, el monismo epistemológico y el principio de simplicidad, son razones suficientes para que se plantee el análisis desde la agroecología; ciencia cuyas bases epistemológicas, distintas a las de la ciencia convencional, enfrenta de manera efectiva los problemas ambientales producto de los modelos ganaderos convencionales (Norgaard y Sikor, 1995; Assis y Jesus, 2005; Ruiz-Rosado, 2006 en Gómez *et al.*, 2015).

Al definir el término agroecología, dentro del contexto ganadero, como la ciencia de las relaciones de los organismos en un entorno transformado por el hombre para la producción bovina (Röös *et al.*, 2016), implica que la transformación de ecosistemas naturales a ecosistemas antrópicos debe ser estudiada desde un punto de vista transdisciplinar. Lo importante aquí, son las relaciones e interacciones entre los componentes que conforman la estructura del mismo, conjuntos y procesos que emergen a partir de ellas y que establecen una función (Becker, 2010; Berkes *et al.*, 2003; Costanza *et al.*, 1993; Glaser *et al.*, 2008; Holland, 1995; Janssen *et al.*, 2006; Kauffman, 1993; Levin, 1999; Rojas, 2015).

La sola descripción de los componentes del agroecosistema no es suficiente para explicarlo como un todo (Folke *et al.*, 2005; Von Bertalanfy, 1965 en Bertalanfy, 1994); en especial, si se trata de ecosistemas antrópicos ganaderos, ya que éstos presentan características implícitas como la no linealidad e incertidumbre en los flujos de energía

en la mayor parte de los procesos que se suceden entre la atmósfera, la litósfera, la hidrósfera, la biósfera y la antropósfera (Berkes *et al.*, 2003).

Aunque es evidente que los sistemas ganaderos son reconocidos como un gran activo global que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional, y al alivio de la pobreza, también se reconoce que las cadenas de suministro bovino producen importantes impactos ambientales a escala global, problemas que no radican en los animales mismos, sino en su uso y manejo si se incorporan a agroecosistemas (Gliessman y *et al.*, 2007; Soussana *et al.*, 2014). La ganadería entonces, debe resolver desafíos como los efectos al cambio climático y las limitaciones sobre los recursos naturales; impactos en los campos biológicos, sociales, culturales y ambientales, en los cuales la producción bovina tiene gran relevancia y responsabilidad (Davinic *et al.*, 2013; Nieto *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016).

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el subsector bovino afectan el ambiente, la economía y el bienestar de los seres humanos y animales (Bett *et al.*, 2017), por tal razón es necesario recurrir a estrategias de evaluación como el enfoque de servicios ecosistémicos; tema que se extiende de manera transversal a las dimensiones productivas, económicas, sociales y ambientales (Chávez *et al.*, 2015), tales como los flujos biogeoquímicos, secuestro de CO₂, fijación biológica de nitrógeno o la percolación del agua, entre otros procesos ecosistémicos, que directa o indirectamente afectan a una amplia gama de servicios que incluyen la regulación del clima, la producción de alimentos y materias primas, la formación de los suelos, el abastecimiento del agua y el control de inundaciones.

Entender la producción de GEI desde el enfoque sistémico, al considerar la emisión de gases del agroecosistema ganadero en su conjunto, y cuantificar los componentes del carbono, ha contribuido a que las emisiones de GEI puedan ser estudiadas implementando modelos meteorológicos que comprendan los flujos de carbono (Papale *et al.*, 2012). La técnica *Eddy Covariance* es una metodología micrometeorológica que ofrece información sobre la variabilidad temporal y los controles ambientales del intercambio de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y vapor de agua, entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres, entre otros (Chen *et al.*, 2009; Tong *et al.*, 2014; Yang, *et al.*, 2014).

La técnica, también llamada Covarianza de Torbellinos, evalúa los flujos desde la biosfera terrestre a través del espectro de escalas de tiempo y espacio sobre las cuales opera (Andreu *et al.*, 2000; Balbotin *et al.*, 2011; Baldocchi *et al.*, 2001; Benito *et al.*, 2016; Dolman *et al.*, 2008; Flores, 2009; Freibauer *et al.*, 2003; Hill *et al.*, 2016; Muñoz, 2011; Ran *et al.*, 2016); ya que la información adecuada de los principales impulsores de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, se encuentra a la escala de ecosistema para la estimación del flujo (Hensen *et al.*, 2006). Implementa para el tratamiento, corrección y cálculo de información, grandes volúmenes de datos que son tomados por la torre que capta los flujos de CO₂ y otros gases (Aubinet *et al.*, 2012; Heusinger *et al.*, 2017; Kunwor *et al.*, 2017; Prajapati *et al.*, 2017; Schmutz *et al.*, 2016); al producir una inmensa cantidad de datos, con nuevos equipos y metodologías para el procesamiento y manejo de información, genera y estructura nuevo conocimiento que ayuda al razonamiento del productor sobre el lugar de su producción (Baldocchi, 2014; Batini *et al.*, 2009; Caballero *et al.*, 2016; Dehning *et al.*, 2016; Deming, 1993; Fox *et al.*, 1994; Madnick, *et al.*, 2009; Mezzananza *et al.*, 2015; Roiger, 2017).

Las torres de *Eddy Covariance* producen un flujo creciente de datos, y ese crecimiento acelerado del tamaño y la cantidad de datos, ha hecho que se haga imprescindible convertir los grandes volúmenes de datos existentes en experiencia, conocimiento y sabiduría, debido a que son formas útiles para la toma de decisiones y el desarrollo económico y social contemporáneo (Cruz *et al.*, 2009). En consecuencia, los avances a partir de modelos como el *KDD* y el *CRISP-DM*, como los estándares que más usan, permiten el desarrollo de metodologías por su posibilidad de explotación de la información (Cruz *et al.*, 2009; López *et al.*, 2017).

El desarrollo del presente trabajo, tenía como objetivo general, proponer una metodología para evaluar Gases de Efecto Invernadero (GEI) en agroecosistemas ganaderos, con los siguientes objetivos específicos: 1) Desarrollar un protocolo metodológico que permita estimar y evaluar mediante el uso de la técnica *Eddy Covariance* el efecto de gases efecto invernadero (CO₂) derivados de las interacciones en un agroecosistema ganadero y 2) Identificar y seleccionar los métodos de análisis de datos derivados de la aplicación de la técnica *Eddy Covariance* a la extracción de conocimiento para la comprensión de los flujos de GEI y su aplicación en agroecosistemas ganaderos.

La propuesta metodológica, adaptada de la teoría de Conocimiento Profundo (Deming, 2000), se fundamenta en la agroecología como ciencia, e incorpora como elemento transversal, la técnica *Eddy Covariance* para la captura de la información, que se analiza a la luz del agroecosistema a través de *CRISP-DM* y *KDD*; modelo que sirve de marco referencial frente a problemas complejos, como lo son la dinámica, efectos e impactos de los GEI en términos de la estructura y función de los agroecosistemas, al constituirse como herramienta de apoyo a las metodologías para el estudio y mejoramiento de los sistemas de producción (Capriles y Capriles, 1995; Paredes, 2007; Paredes, 2008).

Involucra conceptos subyacentes enfocados en la comprensión ecológica del espacio (Fort *et al.*, 2017; Gliessman, *et al.*, 2007; Hoffman *et al.*, 2014), metodologías multidisciplinares (Álvarez *et al.*, 2014; Francis *et al.*, 2003; Gliessman *et al.*, 2007; Polanco y Ríos, 2015), el uso de la técnica *Eddy Covariance* (Baldocchi, 2008; Fu *et al.*, 2014; Matthes *et al.*, 2015; Meshalkina *et al.*, 2015; Vásquez *et al.*, 2015), los modelos estadísticos de extracción de conocimiento *KDD* y *CRISP-DM* (Cruz *et al.*, 2009; Duque *et al.*, 2010; Gil y Valencia, 2012; Grady, 2016; Kalgotra y Sharda, 2016; Kum *et al.*, 2015; Paik, 2016; Roiger, 2017), la teoría de conocimiento profundo (Acuña, 2016; Adleman *et al.*, 2017; Deming, 2000; Lohr, 2015; Malizia *et al.*, 2017; Nosek *et al.*, 2017; Paredes, 2007) y los factores antrópicos que contribuyen a una comprensión única del marco del sistemas agrario actual (Cochran *et al.*, 2016), correspondiente a un agroecosistema ganadero.

Abordar el tema de los GEI en la producción bovina, es pretender entender y evaluar los agroecosistemas ganaderos como un arreglo holístico que integra diferentes componentes y procesos para optimizar la productividad; elementos utilizados que ofrecen la prestación de servicios ecosistémicos, a través de la estructura y función de la relación planta-animal-hombre en un entorno, y que son evaluados por medio de las pérdidas de conversión y las externalidades ambientales asociadas (Fort *et al.*, 2017; Hoffman *et al.*, 2014). Implica un modelo sistémico de interacción compleja, donde el uso de las herramientas de análisis agroecológico, permiten entender la dinámica de los GEI en los agroecosistemas ganaderos, por medio del estudio de las relaciones e interacciones dentro de un sistema, y entre los componentes del paisaje en la cual se encuentra (Lovell *et al.*, 2010).

1. Marco Teórico

1.1 La Agroecología en el Contexto Ganadero.

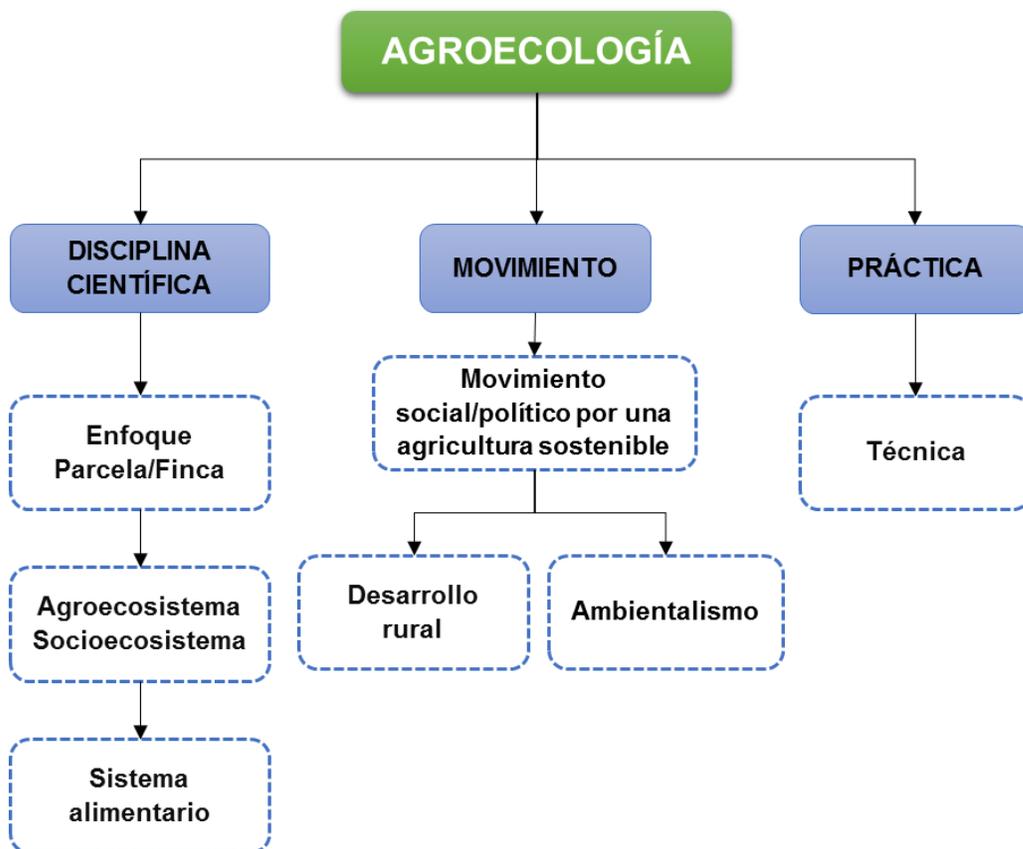
El conjunto de prácticas agrarias que trata de imitar los sistemas naturales a través del conocimiento de los cultivos al introducir el concepto de la agricultura sustentable, se denomina agroecología (Lescourret *et al.*, 2015; Nyantakyi *et al.*, 2016). Propone el equilibrio natural, la autorregulación de los agroecosistemas y la no dependencia de insumos artificiales al generar alternativas al actual modelo industrial, por ser congruente con aspectos ambientales, sociales, económicos, éticos y de desarrollo (Bellamy y Loris, 2017; Gómez *et al.*, 2013; Martín y Sauerborn, 2013; Pérez, 2014).

La agroecología ha ampliado sus escalas de manejo desde parcelas y fincas que incluyen los cultivos y sus rotaciones, animales y diversidad, hacia escalas que circunscriben los agroecosistemas, en paisajes agrícolas, al adoptar un enfoque sistémico, multidisciplinar y transdisciplinar. Estos son arreglos donde se consideran aspectos tales como zonas de regulación, pastoreo rotacional, labranza y bosque, para trascender a una dimensión de sistema alimentario, un marco importante para la agroecología. Es un enfoque busca vincular el proceso productivo de la finca con el paisaje al integrar las actividades agrarias y no agrarias en el territorio (Francis *et al.*, 2003; Lovell *et al.*, 2010; Méndez *et al.*, 2015; Wezel *et al.*, 2015).

Como se aprecia en la Figura 1-1, la agroecología puede ser interpretada bajo 3 enfoques (Francis *et al.*, 2003; Gliessman, 2007; Wezel *et al.*, 2009). El primero, como movimiento agroecológico, que responde a los impactos de la agricultura industrializada donde se investigan ideas de sostenibilidad en los ámbitos políticos y sociales, se utilizan prácticas de conservación de los recursos naturales, manejo de la fertilidad del suelo y conservación de la agrobiodiversidad, como pilares para diferentes corrientes agroecológicas y políticas.

La segunda interpretación se refiere a la disciplina científica; definición y descripción que va más allá de la parcela e incluye su evolución en la finca, el agroecosistema, el paisaje, el sistema agrario y los sistemas alimentarios. Esto la convierte en el marco de la agricultura sustentable al integrar los principios de la ecología y enfatizar las interacciones entre los componentes biológicos, económicos y sociales de los ecosistemas agrarios. El tercero, interpreta la práctica, que reconoce la necesidad de ajustar la agricultura convencional en formas y herramientas operacionales para que sea ambiental, económica y socialmente compatibles, mediante procesos de transición hacia sistemas agrarios y alimentarios más sustentables (Arrignon, 1987; Campbell y Ortiz, 2011; Edwards, 1993; Francis *et al.*, 2003; Gliessman, 2007; Martín y Sauerborn, 2013; Wezel *et al.*, 2009; Wezel *et al.*, 2015).

Figura 1-1. Principales interpretaciones de la agroecología.



Fuente: Adaptado de Arrignon (1987); Campbell y Ortiz (2011); Edwards (1993); Francis *et al.* (2003); Gliessman (2007); Martín y Sauerborn (2013); Wezel *et al.* (2009); Wezel *et al.* (2015).

Por lo expuesto, la agroecología no sólo debe ser llevada a diferentes dimensiones, sino que ofrece alternativas para el cambio en el modelo productivo no compatible con su entorno en distintas escalas. El enfoque agroecológico, sistémico y territorial, aporta las bases ecológicas de estructura, funcionamiento y aptitud para avanzar hacia un proceso de conversión o transición de una agricultura convencional hacia sistemas sustentables. En el conexto de seguridad y soberanía alimentaria y nutricional, se avanza hacia la construcción de formas de acción colectiva que fortalecen el desarrollo y el mantenimiento del capital social, con procesos participativos y democráticos para la producción agraria rural (Altieri, 2009; Bravo *et al.*, 2017; Campbell y Ortiz, 2011; Chavez *et al.*, 2015; Dumont *et al.*, 2016; Elden, 2010; Francis *et al.*, 2003; Geels, 2004; Gliessman, 2007; Pant, 2016; Perez, 2014; Rahman, 2016; Wezel *et al.*, 2015).

La agroecología postula que los sistemas agrarios deben percibirse como ecosistemas complejos, con límites amplios y con un efecto ambiental ejercido por prácticas agrarias. Esto conlleva a un costo ambiental y social en la ecuación económica de la producción (Rahman, 2016). La metodología necesaria para desarrollar el sistema productivo ambientalmente adecuado, altamente productivo, socialmente equitativo y económicamente viable, debe considerar la aplicación de los principios agroecológicos (Passeri 2016; Wezel *et al.*, 2015; Amekawa, 2011). El término agroecología, en el ámbito ganadero que adopta este documento es: “la ciencia de las relaciones de los organismos en un entorno propiamente transformado por el hombre para la producción agrícola y ganadera, con el uso eficiente de los recursos, la recirculación de nutrientes y el desarrollo de procesos productivos adaptados a condiciones locales únicas (Röös *et al.*, 2016)”. De manera explícita, estudia las relaciones en un entorno transformado por el hombre para la producción bovina.

El objetivo de la agroecología en la producción ganadera sería entonces, integrar los componentes de manera tal, que aumenten la eficiencia biológica y mantengan la capacidad productiva y autosuficiente del agroecosistema; es decir, se orienta hacia la gestión social y ecológica de los ecosistemas agrarios basado en los principios de sostenibilidad, integridad, productividad, equidad y estabilidad. Por tal razón, la agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y social y económicamente viables. El manejo agroecológico debe tratar de optimizar las

complementariedades y sinergias que resultan de varias combinaciones de cultivos, áreas naturales y animales, en arreglos espaciales y temporales diversos. En esencia, el manejo óptimo de los agroecosistemas depende del nivel de interacciones entre los varios componentes bióticos y abióticos (Lampkin *et al.*, 2015; Bonaudo *et al.*, 2014; Wezel *et al.*, 2009; Wezel *et al.*, 2014; Garbach *et al.*, 2014).

Los sistemas ganaderos deben ser sustentables y eficientes para satisfacer la demanda agroalimentaria mundial, la agroecología se convierte entonces, en una opción donde la productividad, la seguridad, la protección, la viabilidad y la aceptación, son los principales factores de la gestión sustentable del territorio (Mohamed *et al.*, 2014). Una producción agroecológica abarca los tiempos biológicos y los fortalece para producir, incluye el uso de recursos locales y la presencia activa de actores sociales y económicos. Se trata de avanzar hacia un sistema equilibrado y adaptativo ante la variabilidad natural, con el ánimo de modificar el modelo de intensificación y especialización productiva dominante, para transitar hacia modelos productivos que sean complementarios, y de los cuales, se obtengan amplios beneficios sociales, ambientales y económicos (Chávez *et al.*, 2015; Pérez, 2014).

1.2 Los Agroecosistemas Ganaderos.

La base de la actividad de los sistemas de producción agrarios se desarrolla a partir del manejo de ecosistemas transformados en un territorio dado, denominado agroecosistema (Forero *et al.*, 2002; Rojas, 2005; Rojas, 2015). Es un sistema ecológico con características propias cuya estructura y función están dirigidas y afectadas por la intervención humana (Martín y Sauerborn, 2013). Es la proyección sobre un territorio de estructuras creadas por el hombre, que incluye la forma en que se delimita, gestiona y organiza el área en cuestión (Wezel *et al.*, 2014; Wezel *et al.*, 2016).

En los agroecosistemas ganaderos se desarrollan actividades agropecuarias que presentan patrones de homogeneidad en términos de cobertura vegetal, fisiografía y tecnología utilizada en el proceso productivo, durante un período de tiempo; poseen una estructura, unos procesos interactivos y de transformación y unos productos finales, resultando en flujos que dependen de la dinámica de las fincas y del sistema

de producción del cual hacen parte, y que a su vez determinan el funcionamiento del mismo (Rojas, 2015). Esta perspectiva holística en la que los seres humanos se incluyen explícitamente dentro de los ecosistemas; constituye un sistema complejo que integra aspectos sociales y ambientales, donde a pesar de estar separados, presentan relaciones mutuas (Berkes y Folke, 1998; Berkes y Seixas, 2005; Caballero *et al.*, 2015; Folke, 2003; Ruiz, 2010).

La transformación de ecosistemas naturales a ecosistemas antrópicos debe ser estudiada desde un punto de vista transdisciplinar. La sola descripción de los componentes del agroecosistema no es suficiente para explicarlo como un todo (Folke *et al.*, 2005; Von Bertalanfy, 1965 en Bertalanfy, 1994); en especial si se trata de ecosistemas antrópicos ganaderos, ya que éstos presentan características implícitas como la no linealidad e incertidumbre en los flujos de energía en la mayor parte de los procesos que se suceden entre la atmósfera, la litósfera, la hidrósfera, la biósfera y la antropósfera (Berkes *et al.*, 2003).

Lo importante aquí, son las relaciones e interacciones entre los componentes que conforman la estructura del mismo, conjuntos y procesos que emergen a partir de ellas y que establecen una función (Becker, 2010; Berkes *et al.*, 2003; Costanza *et al.*, 1993; Glaser *et al.*, 2008; Holland, 1995; Janssen *et al.*, 2006; Kauffman, 1993; Levin, 1999; Rojas, 2015). La producción del animal está relacionada con la cantidad de pastura consumida, y a su vez depende de la presión de pastoreo (Dieguez y Fort, 2017), por lo que utilizar maneras no tradicionales de análisis de la información, como la perspectiva de redes para representar los agroecosistemas, puede mejorar el análisis en las estructuras de las relaciones e interacciones de los componentes del sistema. La complejidad de estas relaciones se debe a la interdependencia, aunque en el socioecosistema todos estos procesos no lineales complican el predecir los efectos y las trayectorias del cambio (Allain *et al.*, 2017; Fernández, 2014; Janssen *et al.*, 2006).

Las interacciones proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad del suelo, la productividad y la protección de los cultivos y animales (Altieri, 2002; Gliessman, 2002). Existen agroecosistemas que integran los cultivos y el ganado. Un agroecosistema ganadero, está compuesto por comunidades de plantas y animales distribuidos en el tiempo y el espacio, el cual ha sido transformado con el objetivo de producir alimentos,

fibras, y otros productos para el consumo y procesamiento humano (Altieri, 2002; Chablé-Pascual *et al.*, 2015; Paleologos *et al.*, 2017; Silva-Santamaría *et al.*, 2017). Estos se caracterizan por tener una mezcla de vegetación perenne o anual pastoreada por bovinos, que producen rendimientos entre lo ecológico y lo productivo; enfoque que sirve de sustento para complementar los procesos de conservación con las actividades humanas (Davinic *et al.*, 2013; Petersen y Snapp, 2015; Sabatier *et al.*, 2010). En este aspecto, el pastoreo representa un papel importante en la formación de las comunidades ecológicas en los ecosistemas ganaderos (Rotem *et al.*, 2015).

Las praderas interactúan directamente con el suelo y los factores bióticos y abióticos, con las condiciones climáticas y los animales (Duru *et al.*, 2013). Garnier y Navas (2011) señalan que éstas tienen distintos comportamientos bajo diferentes condiciones ambientales, ya que disponen de mecanismos fisiológicos, genéticos o de crecimiento para afrontar los cambios. Por lo tanto, entender el efecto de ciertos factores de cambio sobre la pastura, permite analizar los impactos sobre la provisión de servicios (Hevia *et al.*, 2016). Por esta razón, grandes extensiones de pastizales en buenas condiciones son un fiel indicador del adecuado funcionamiento del ecosistema (Ouyang *et al.*, 2012).

El ganado es un factor que impulsa la transformación de los ecosistemas naturales a ecosistemas ganaderos (Austrheim *et al.*, 2016). En estos, el hombre transforma su entorno con la utilización de los recursos naturales disponibles (capital natural) por medio del uso de herramientas y el talento humano (capital humano). Creando un ecosistema antrópico con una función específica, en un paisaje que interactúa con las condiciones culturales de la comunidad (Galán *et al.*, 2016). El ganado tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de las pasturas, puesto que modifica el comportamiento de las plantas, en tanto que éstas generan adaptaciones y competitividad para sobrevivir al pastoreo (Catorci *et al.*, 2013). Dieguez y Fort (2017) señalan que debe tenerse en cuenta no solo la altura de las pasturas y la ganancia de peso de los animales, sino también, los efectos ambientales sobre la oferta forrajera y los efectos del animal sobre la pastura. Moraine y *et al.* (2016) mencionan que el animal afecta a las pasturas de forma directa (a través del pastoreo) e indirecta (deposición de heces) y además resaltan que la eficiencia metabólica del animal es un factor determinante del uso de las pasturas, aspecto crucial para mejorar la producción.

Por lo anterior, el manejo que el productor de a los animales en cuanto al modelo productivo implementado, influye sobre la provisión de servicios ecosistémicos y tiene un efecto antagónico con los servicios de provisión y regulación (Wu *et al.*, 2017). Depende de los valores, creencias y objetivos del agricultor (Doré *et al.*, 2011), quien puede modificar hasta la disposición espacial y temporal (Garbach *et al.*, 2014; Cappell y LaValle, 2011; Lovell *et al.*, 2010). El tipo de agricultura que cada productor elige se relaciona con su entorno socioeconómico, cultural, conocimiento, interés y su relación con la comunidad, entre otros (Wezel *et al.*, 2009; Altieri, 2009). Esto los hace reconocibles y diferenciables de otras áreas circundantes (Etter, 1994).

Duru *et al.* (2015) proponen que para el diseño de explotaciones sustentables es necesario determinar la eficiencia en el uso de las pasturas; por lo que el diseño de sistemas sustentables debe, por lo tanto, imitar la estructura y las funciones de los ecosistemas naturales (Bonaudo *et al.*, 2014). La sustentabilidad de los agroecosistemas ganaderos contempla tres características principales; la resiliencia frente a las perturbaciones, tanto naturales como antrópicas, el aprovechamiento ganadero y la escala espacial y temporal (Passeri *et al.*, 2016; Lampkin *et al.*, 2015; Gerdessen y Pascucci, 2013). Es decir, cada agroecosistema presenta características propias, suelos, clima, biodiversidad, topografía y disponibilidad de agua, entre otros, que determinan su productividad y su potencial, lo que se asimila al concepto de “capacidad de carga” (Tiftonell, 2014).

Así mismo, puede integrar dinámicamente las diversas condiciones políticas y bioquímicas a través de las relaciones, por lo cual es una estructura en constante cambio (Virapongse *et al.*, 2016) y la cual se establece entre sistemas agrarios, productivos y estables, hasta los sistemas de explotación caracterizados por alta productividad, con baja sustentabilidad y estabilidad (Passeri *et al.*, 2016; Barataud *et al.*, 2014; Herrero *et al.*, 2011). La agroecología y la multifuncionalidad proporcionan conceptos clave de un marco evolutivo para el diseño sustentable de los paisajes agrarios, haciendo hincapié en la necesidad de integrar los enfoques existentes. En particular la agroecología y la multifuncionalidad, reunidos como un marco integrado y específicamente centrado en el diseño de paisajes agrarios sustentables (Lovell *et al.*, 2010).

1.3 Gases de Efecto Invernadero en Ganadería.

El Cambio Climático (CC), es una consecuencia directa del incremento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera (Nikzad y Sedigh, 2017). Representa una amenaza de tipo ambiental con impactos directos sobre el calentamiento global, ocasionados por actividades antrópicas que han acelerado fenómenos climáticos extremos en muchas regiones desde la década de 1950 (IPCC, 2013; Tian y Yang, 2017; Wethey *et al.*, 2011), con un efecto en el incremento de la temperatura global en 0,85°C en promedio entre los años 1880 y 2012 (Chena *et al.*, 2017).

Según la Organización Meteorológica Mundial (2017), 2016 fue el año más caluroso registrado hasta el momento, superando en 0,83 °C la media establecida en el periodo 1961- 1990. Este incremento es producto de la combinación de las concentraciones de GEI, especialmente Dióxido de Carbono (CO₂) atmosférico, y el fenómeno de El Niño (NOAA-ESRL, 2016; Szulejko *et al.*, 2017). En consecuencia, el incremento continuo de los GEI resultará en el aumento de las temperaturas de la tierra, las cuales podrían afectar significativamente la vida en el planeta (Prasad *et al.*, 2017).

Para el año 2012, el CO₂ registró el porcentaje más alto de emisiones derivado de las actividades humanas a nivel mundial con cerca del 82%, seguido por el Metano (CH₄) 9%, el Óxido Nitroso (N₂O) 6% y los gases fluorados como los Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆) con alrededor del 3% (Gruters; 2005; Iñamagua *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2015; Laurila *et al.*, 2012; Olah *et al.*, 2009; Sejian *et al.*, 2015; Villoria *et al.*, 2016; Von Bernard *et al.*, 2007; Zanutelli *et al.*, 2015).

El CO₂, CH₄ y N₂O son los gases de efecto invernadero antrópico mas importantes, debido a que sus flujos son los que más contribuyen al CC (Gruters; 2005; Laurila *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2015; Olah *et al.*, 2009; Zanutelli *et al.*, 2015). Múltiples estudios muestran cómo estos cambios afectan las condiciones ambientales, y mediciones anuales permiten evaluar la variabilidad interanual en los flujos de CO₂, CH₄ y otros GEI en diferentes localizaciones (Burba, 2013; Goodrich *et al.*, 2016; Kunwor *et al.*, 2017; Prajapati *et al.*, 2017).

Se considera que la agricultura es la principal fuente de emisión de GEI, del total de los gases antrópicos en el mundo, el 18% es producido por la ganadería con aportes discriminados así: 9% en CO₂, 65% en N₂O, 37% en CH₄ y 64% de las emisiones de NH₃ (Penttilä *et al.*, 2013; Rzeznik *et al.*, 2016; Rzeznik, y Mielcarek, 2016). También se afirma que el sector ganadero representa alrededor del 13% de las emisiones mundiales de GEI (Haas *et al.*, 2017), con valores del 42% para el CH₄ entérico, como el principal contribuyente (Alemu *et al.*, 2017; Environment Canada, 2015). Se reporta que el CO₂ y CH₄ causado principalmente por los rumiantes, contribuye con un tercio de las emisiones mundiales de GEI y otros gases como el NH₃ y N₂O en menor medida (Bai *et al.*, 2015; Felber *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2015).

En Colombia, los resultados generales del Inventario Nacional de GEI (2015) (Módulo AFOLU-IPCC, por sus siglas en inglés) indican que la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra generaron el 43% del total de las emisiones; los que más contribuyen al promedio histórico (IDEAM, 2015) son, las tierras forestales (32%), pastizales (31%) y el ganado (12%). Dentro de las actividades agrícolas, que representan el 26% de las emisiones brutas del país, la fermentación entérica (37%), las quemadas, la gestión de suelos agropecuarios (34%) y los cultivos permanentes (22%) son los principales contribuyentes (IDEAM, 2016).

La producción bovina en modelos convencionales se hace en altas densidades para producir la mayor cantidad posible de carne o de leche a menor costo y genera un impacto ambiental global por emisiones de GEI (Martin y Sauerborn, 2013; Westbury *et al.*, 2011). El incremento en el consumo de carne bovina a escala global, se traduce en aumento en el número de animales, mayor producción y manejo de estiércol y eructos, emisión entérica, uso intensivo de los recursos suelo y agua asociado a fenómenos de degradación y en general a pérdidas ambientales, procesos de interés clave en la evaluación de los flujos de gases derivados de la producción bovina (Iñamagua *et al.*, 2016; Nieto *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2016; Penttilä *et al.*, 2013; Sejian *et al.*, 2015; Von Bernard *et al.*, 2007).

Soussana y *et al.* (2014) y Gliessman y *et al.* (2007), afirman que los problemas no radican tanto en los animales mismos, sino en su uso y manejo si se incorporan a agroecosistemas; se resalta que los animales pueden desempeñar muchos papeles beneficiosos en los agroecosistemas y por tanto, hacer contribuciones a la sustentabilidad.

Aunque es evidente que los sistemas ganaderos son reconocidos como un gran activo global que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional, y al alivio de la pobreza, también se reconoce que las cadenas de suministro bovino producen importantes impactos ambientales a escala global (Soussana *et al.*, 2014). La ganadería entonces, debe resolver desafíos como los efectos al cambio climático y las limitaciones sobre los recursos naturales; impactos en los campos biológicos, sociales, culturales y ambientales, en los cuales la producción bovina tiene gran relevancia y responsabilidad (Davinic *et al.*, 2013; Nieto *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016).

Los GEI en el subsector bovino afectan el ambiente, la economía y el bienestar de los seres humanos y animales (Bett *et al.*, 2017), por tal razón es necesario recurrir a estrategias de evaluación como el enfoque de servicios ecosistémicos; tema que se extiende de manera transversal a las dimensiones productivas, económicas, sociales y ambientales (Chávez *et al.*, 2015), tales como los flujos biogeoquímicos, secuestro de CO₂, fijación biológica de nitrógeno o la percolación del agua, entre otros procesos ecosistémicos, que directa o indirectamente afectan a una amplia gama de servicios que incluyen la regulación del clima, la producción de alimentos y materias primas, la formación de los suelos, el abastecimiento del agua y el control de inundaciones.

El análisis a partir de los agroecosistemas, ha generado métodos de estimación bajo escenarios alternativos y en múltiples escalas que se acoplan a los procesos y a la estructura ecológica y resultan de gran valor para la comprensión y verificación de fuentes y sumideros de GEI, sobre las cuales se ha tratado de identificar el nivel de detalle para el área a medir (Dolman *et al.*, 2008; Martin y Montes, 2011; Wohlstattera *et al.*, 2016; Yu *et al.*, 2017).

Escalas temporales y su interacción (Foken *et al.*, 2012; Hoffman *et al.*, 2013;) son importantes para estudiar la dinámica de servicios ecosistémicos, variación del tenor de carbono, ciclos biogeoquímicos y propiedades del suelo. Estas características son usadas para asignar posibles relaciones en la escala del tiempo (Borchard *et al.*, 2015; Cardinale *et al.*, 2004; Hein *et al.*, 2016; Koebisch *et al.*, 2015).

De manera similar, escalas espaciales se relacionan con el tamaño del área; y se

representan global, regional y localmente (ecosistema, finca, lote o punto) (Baldocchi *et al.*, 2001; Foken *et al.*, 2012; Hoffman *et al.*, 2013; Venegas, 2010). También para cada escala, se emplean diferentes técnicas de captura de información, que además deben ser relacionadas con la actividad a evaluar (Kates *et al.*, 1999).

A nivel global y regional, se han estudiado las fuentes y los sumideros de carbono utilizando modelos de inversión atmosférica a través de campos de concentración de CO₂ (Baldocchi *et al.*, 2001), que calculan flujos de manera espacial y temporal, con un monitoreo que requiere una documentación exhaustiva para su estudio (Dolman *et al.*, 2008; Hensen *et al.*, 2006); sin embargo, están sujetas a errores causados por la escasez de mediciones de gases traza, por la certidumbre de los modelos de transporte atmosférico (Baldocchi *et al.*, 2001) y por la resolución de las imágenes satelitales utilizadas (Kumar *et al.*, 2016). Los modelos matemáticos son validados con cámaras que interactúan con las propiedades emergentes de un área determinada para predecir, cuantificar y asignar los cambios ambientales que generan flujos del carbono u otros gases (Baldocchi *et al.*, 2001; Balzarolo *et al.*, 2016; Dolman *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2016; Venegas, 2010).

Para la medición de las emisiones a escala, se reportan diferentes técnicas que van desde el rastreo de isótopos de fuentes antrópicas, hasta los intercambios gaseosos o de concentraciones de CO₂ en suelos y plantas evaluados mediante cámaras estáticas; éstas últimas, referenciadas como una de las metodologías más ampliamente difundida por su eficacia para explicar el flujo de gases evaluados en diferentes entornos (Baldocchi *et al.*, 2001; Dolman *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2016; Venegas, 2010). También existen técnicas y métodos especializados en los diferentes tipos de gases como el infrarrojo, la quimioluminiscencia, el análisis colorimétrico y la cromatografía de gases, entre otros (Cortés *et al.*, 2017).

Los métodos de medición con cámaras han evolucionado en los últimos años para estimar las emisiones en bovinos; miden flujos subyacentes como la respiración del ecosistema, el efecto de las dietas y de las estrategias de mitigación de los GEI, a pesar de los problemas de precisión y de su validez frente a condiciones atmosféricas diversas (Bai *et al.*, 2015; Baldocchi, 2003). La escala puntual presenta problemas en la medición de los factores ambientales y de emisiones, debido a que se miden en y para un punto local

(Kates *et al.*, 1999; Martín y Montes, 2011; Yu *et al.*, 2017).

Estos métodos disturban y alteran el comportamiento del animal, las condiciones de manejo y las tasas de emisiones de gases, lo que hace que su aplicación sea restringida a un número limitado de animales, y que la incertidumbre en la medición sea mayor (LaDeau *et al.*, 2017; Prajapati y Santos, 2017). El hecho que la caracterización con cámaras presente estas limitaciones, es lo que a llevado al desarrollo de técnicas micrometeorológicas como *Eddy Covariance*, preferidas en la investigación para determinar los flujos a nivel de ecosistemas o agroecosistemas (Riederer *et al.*, 2013).

1.4 Eddy Covariance.

La técnica *Eddy Covariance* (EC), también llamada Covarianza de Torbellinos (Andreu *et al.*, 2000; Balbotin *et al.*, 2011; Benito *et al.*, 2016; Dolman *et al.*, 2008; Flores, 2009; Freibauer *et al.*, 2003; Hill *et al.*, 2016; Muñoz, 2011; Ran *et al.*, 2016), es un método que aplica diferentes herramientas para evaluar los flujos desde la biosfera terrestre a nivel de ecosistema, a través del espectro de escalas de tiempo y espacio sobre las cuales opera (Baldocchi *et al.*, 2001).

Si bien la información general sobre el tipo de vegetación, las especies arbóreas, los cultivos agrícolas y la producción bovina está disponible para escalas global, regional y local, lo más razonable sería utilizar una escala de medición que permita evaluar las interacciones a nivel del agroecosistema (Dolman *et al.*, 2008; Felber *et al.*, 2015).

La información de los principales causantes de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O se encuentra a escala de ecosistema para la estimación del flujo (Hensen *et al.*, 2006); nivel al cual es necesario incluir parámetros de entrada tales como temperatura, precipitación, humedad del suelo y las actividades relacionadas con los procesos productivos (manejo), responsables de regular las emisiones (Dolman *et al.*, 2008; Freibauer *et al.*, 2003; Hensen *et al.*, 2006).

La técnica EC es adecuada para cuantificar la dinámica del carbono en agroecosistemas, mide en éstos, los flujos verticales y el balance de carbono. Sin embargo, su aplicación

puede ser difícil ya que requiere una ubicación homogénea con una condición atmosférica constante de intercambio de turbulencia adecuada (Ward *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2017). Este método directo para medir los flujos entre la tierra y la atmósfera (Baldocchi, 2003), se ha utilizado en varios sitios alrededor del mundo, mostrando ventajas para la medición de flujos de energía e intercambio de CO₂ a la escala de agroecosistemas (Bai *et al.*, 2015; Baldocchi, 2003; Prajapati y Santos, 2017).

Tiene la capacidad de muestrear grandes superficies, por su potencial para cuantificar ecosistemas enteros y responden a un espectro de regímenes climáticos; expandiendo así el alcance espacial del método (Baldocchi *et al.*, 2001). Estima las emisiones de los rumiantes a diferentes escalas y las compara o mide en praderas, bosques y humedales, entre otros (Felber *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2013); como técnica, es usada en las pasturas y el ganado, ya que permite cuantificar el cambio en la concentración de gases en la atmósfera, los parámetros meteorológicos y la velocidad y dirección del viento (Yu *et al.*, 2017; Baldocchi, 2003; Dolman *et al.*, 2008; Felber *et al.*, 2015; Moncrieff *et al.*, 1996; Riederer *et al.*, 2013; Wohlfahrt *et al.*, 2012)

La técnica EC proporciona mediciones integradas del ciclo global del carbono de origen antrópico y/o natural, incluyendo aquellas que no suelen tenerse en cuenta en los inventarios típicos de emisiones como la respiración humana, la animal y la absorción de CO₂ por la fotosíntesis, entre otros (Emmerton *et al.*, 2016; Felber *et al.*, 2015; Goodrich *et al.*, 2016; Kutzbach *et al.*, 2007; Oechel *et al.*, 2014; Parmentier *et al.*, 2012; Velasco *et al.*, 2010; Zona *et al.*, 2015). El método aporta invaluable conocimiento sobre la dinámica de los procesos de las superficies terrestres, al suministrar flujos de calor o gases como el vapor de agua, el CO₂, el CH₄, el N₂O u otros (Goodrich *et al.*, 2016; Baldocchi 2013; Dolman *et al.*, 2008); es una de las medidas más directas de los intercambios de energía y balance de masa sobre todos los ecosistemas (Baldocchi, 2014; Hill *et al.* 2016), lo que mejora la comprensión de los flujos de gases a nivel del paisaje (Ran *et al.*, 2016).

En el contexto actual, esta técnica ha mejorado la comprensión del intercambio neto de CO₂ de los ecosistemas de manera temporal y espacial, es reconocido como el método micrometeorológico más directo para la cuantificación y determinación de los flujos de masa y energía sobre el estado entre la biosfera y la atmósfera, la evaluación de la

evapotranspiración total o evaporación del agua (Aouade *et al.*, 2016; Heusinger *et al.*, 2017; Kunwor *et al.*, 2017; Prajapati *et al.*, 2017; Schmutz *et al.*, 2016). Es de vital importancia para la comprensión de la dinámica espacio-temporal del ciclo global del carbono (Kumar *et al.*, 2016), razón que ha hecho de esta técnica, la piedra angular de la investigación sobre la dinámica del carbono durante más de dos décadas (Kunwor *et al.*, 2017). Está disponible para cualquier disciplina, incluyendo ciencia, industria, agricultura, monitoreo ambiental e inventario y regulaciones de emisiones (Burba, 2013; Flanagan *et al.*, 2017).

El método EC se usa en pasturas, y suministra información en el mundo a partir de 32 torres localizadas en arreglos pastoriles para la red Fluxnet (2015) o 56 torres reportadas por la red Euroflux (2016), que miden el intercambio de vapor de agua, CO₂, CH₄, y los flujos de energía entre la superficie de la tierra y la atmósfera (Burba, 2013; Huang *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2016; Leopold *et al.*, 2016; Prajapati *et al.*, 2017; Venegas, 2010).

Las torres poseen instrumentos para medir flujos de sistemas agrarios (Bond *et al.*, 2002; Byrne *et al.*, 2007; Dumortier *et al.*, 2017) a diferentes escalas del paisajes, debido a que los ecosistemas del mundo son organizacional, estructural, y funcionalmente diferentes en el dosel (Munger *et al.*, 2012); el ecosistema pasa por cambios, el paisaje se renueva y la producción aumenta, tal como sucede en un pastizal.

La aplicación de la técnica en sistemas agrarios, es derivada del aumento en el interés en los efectos, impactos y medidas, que las prácticas agrarias, y el sector agrario en sí, tienen sobre las emisiones, los flujos y el secuestro de carbono (Abraha *et al.*, 2015, Anderson *et al.*, 2017; Aouade *et al.*, 2016; Bai *et al.*, 2015; Balbotin *et al.*, 2011; Baker *et al.* 2005; Burba *et al.*, 2008; Burba, 2013; Connan *et al.*, 2015; Facchi, *et al.*, 2013; Freibauer *et al.*, 2003; Jérôme *et al.*, 2014; Mamadou *et al.*, 2016 Moureaux *et al.*, 2012; Prajapati *et al.*, 2017; Reth *et al.*, 2004; Richardson *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2015; Verlinden *et al.*, 2013; Wohlfahrt *et al.*, 2012; Zanutelli *et al.*, 2014; Zermeño *et al.*, 2012). La técnica EC se está convirtiendo en un ejercicio de monitoreo diario y no sólo una actividad puramente científica con estudios que han sido capaces de captar las tendencias en el largo plazo y su variabilidad (Aouade *et al.*, 2016; Burba, 2013; Foken *et al.*, 2012; Heusinger *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2016; Prajapati *et al.*, 2017; Schmutz

et al., 2016).

Las torres de medición deben ser adecuadas y soportar cambios extremos ambientales para la captura de la información, lo cual sirve para comprender de forma detallada los procesos a nivel del sistema y del suelo; y puede proporcionar hipótesis sobre los cambios en los componentes del sistema (Bond *et al.*, 2002; Kirschbaum *et al.*, 2017; Malhi *et al.*, 2012). El método se emplea para estudiar el intercambio de CO₂ (Baldocchi, 2003; Foken *et al.*, 2012) en entornos que van desde centros urbanos (Contini *et al.*, 2012; Christen *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2015; Schmutz *et al.*, 2016; Velasco *et al.*, 2010) hasta lugares como el Ártico (Emmerton *et al.*, 2016; Felber *et al.*, 2015; Goodrich *et al.*, 2016; Kutzbach *et al.*, 2007; Oechel *et al.*, 2014; Zona *et al.*, 2015), mide los flujos de CO₂ a la escala de ecosistema, y su uso se ha extendido a la medición de emisiones de gases en agroecosistemas (Anderson *et al.*, 2017; Baldocchi, 2003; Prajapati *et al.*, 2017).

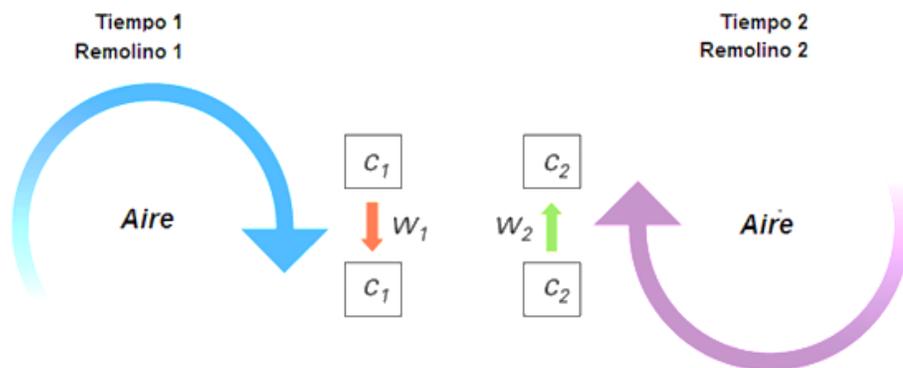
La técnica en la actualidad está respaldada por metodologías con instrumentación robusta y avanzada; se aplica sobre suelos (Aouade *et al.*, 2016; Connan *et al.*, 2015; Freibauer *et al.*, 2003), cultivos (Anderson *et al.*, 2017; Burba *et al.*, 2008; Moureaux *et al.*, 2012; Richardson *et al.*, 2012) con aplicaciones específicas en maíz (Facchi, *et al.*, 2013; Richardson *et al.*, 2012), caña de azúcar (Richardson *et al.*, 2012; Zermeño *et al.*, 2012), huertos de manzanas (Zanotelli *et al.*, 2014), viñedos (Balbotin *et al.*, 2011) y fuente de biocombustibles (Abraha *et al.*, 2015). Se utiliza en el ganado vacuno (Bai *et al.*, 2015; Prajapati *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2015), pasturas (Connan *et al.*, 2015; Jérôme *et al.*, 2014; Mamadou *et al.*, 2016; Verlinden *et al.*, 2013; Wohlfahrt *et al.*, 2012), lagos (Nordbo *et al.*, 2011; Vesala *et al.*, 2012), ríos (Flanagan *et al.*, 2017; Kutzbach *et al.*, 2007), el mar (Andersson *et al.*, 2016; Norris *et al.*, 2012) y humedales (Laurila *et al.*, 2012), aportando a los estudios del ciclo hidrológico y la dinámica del carbono en los ecosistemas (Ran *et al.* 2016; Waldo *et al.*, 2016; Plake *et al.*, 2015).

Burba (2013, 2011), Baldocchi (2012) y Foken y *et al.*, (2012) afirman que un flujo es descrito como la cantidad de un elemento que se mueve a través de un área unitaria por unidad de tiempo, cuantía de una entidad que pasa a través de una superficie cerrada por unidad de tiempo; sin embargo, si el flujo neto está alejado de la superficie, se denomina fuente, en caso contrario, es un sumidero (Burba, 2013; Reibmann *et al.*,

2012). Aunque Baldocchi (2014) describe que el flujo es el término formal que define el número de moles de materia, o Joules de energía, que pasa a través de una unidad de área por unidad de tiempo, el concepto de flujo sigue siendo abstracto y subestimado para muchos observadores del medio ambiente (Baldocchi, 2014).

El flujo de aire consiste de numerosos remolinos giratorios; como aparece en la Figura 1-2, en un momento (tiempo 1), el remolino número 1 se mueve al paquete de aire C1 hacia abajo con la velocidad W_1 y el siguiente momento (tiempo 2), en el mismo punto, el remolino número 2 mueve el paquete de aire C2 hacia arriba con la velocidad W_2 (Burba, 2013); cada paquete tiene unas características tales como concentración de gas, temperatura y humedad, entre otras, para ser fijadas en la torre (Baldocchi, 2013).

Figura 1-2. Flujo del aire en un solo punto de la torre.



Fuente: Burba (2013)

donde,

C1 y C2: Paquetes de aire

W_1 y W_2 : Velocidad

Un flujo puede imaginarse como una corriente horizontal de numerosos remolinos de aire; cada remolino comprende componentes tridimensionales, que incluyen el movimiento vertical del aire, medido por la torre, Figura 1-3 (Baldocchi, 2012; Burba *et al.*, 2011; Burba *et al.*, 2013; Mamadou *et al.*, 2016). El flujo de aire está representado por la gran flecha que pasa por la torre, en la cual existen remolinos de diversos tamaños; que en otros términos, marco conceptual de los remolinos atmosféricos (Burba, 2013).

Figura 1-3. Flujo de aire en el ecosistema.



Fuente: Adaptado de Burba (2013).

Más cerca del suelo hay remolinos pequeños, responsables del transporte de flujos, siendo estos más rápidos y por lo tanto, con mayor frecuencia (Mamadou *et al.*, 2016; Rebmann *et al.*, 2012; Burba *et al.*, 2011), sin embargo más allá del suelo, hay remolinos que son grandes y que son responsables del transporte de la mayor parte del flujo, debido a que giran más lentamente; es decir, presenta mayor transporte con movimientos de menor frecuencia (Rebmann *et al.*, 2012; Burba *et al.*, 2011).

La implementación de la técnica EC tiene en cuenta el sitio de la instalación, el modelo estadístico a utilizar, la captura de los datos (mediciones) y el procesamiento de la información (Kumar *et al.*, 2016; Hoffman *et al.*, 2013; Baldocchi, 2003; Massman *et al.*, 2002; Baldocchi *et al.*, 1988; Foken *et al.*, 1995). Para el análisis de la información, existen metodologías específicas que garantizan tanto la seguridad como la calidad de los flujos, que aclaran las inconsistencias entre los diferentes niveles de la torre y el error del flujo debido a fluctuaciones por elementos en la atmosfera (Mauder & Foken, 2015; Rebmann *et al.*, 2012; Vickers & Mahrt, 1997); por tal razón, es necesario garantizar la calidad de los datos, los cuales deben ser obtenidos a partir de modelos que sean capaces de integrar al área de interés mediciones tales como el Intercambio Neto del Ecosistema (NEE) Soloway *et al.*, 2017; Rebmann *et al.*, 2012; Zermeño *et al.*, 2012).

1.4.1 El Intercambio Neto del Ecosistema.

El Intercambio Neto del Ecosistema (NEE por sus siglas en inglés, Net Ecosystem Exchange) (Blanco, 2013; Zermeno *et al.*, 2012; Teresa, 2011; Serrano *et al.*, 2010; Serrano, 2008), se refiere a la producción primaria neta del ecosistema menos las pérdidas de carbono en la respiración heterotrófica, y se utiliza para referirse a los flujos a partir de una medición de los tipos de cambio de gas en mediciones atmosféricas a través de escalas de tiempo (Soloway *et al.*, 2017; Balzarolo *et al.*, 2016; Leopold *et al.* 2016; Liu *et al.*, 2016; Gu, 2013; Reichstein *et al.*, 2012; Kirschbaum, 2001).

El NEE ha permitido integrar, en una resolución temporal, los componentes que controlan la capacidad del ecosistema para actuar como sumidero de CO₂, debido a que es el flujo implicado en el proceso biogeoquímico del carbono en el ecosistema (Soloway *et al.*, 2017; Balzarolo *et al.*, 2016; Leopold *et al.* 2016; Liu *et al.*, 2016; Gu, 2013; Reichstein, *et al.*, 2012); no obstante, el flujo de NEE genera diferentes fuentes de incertidumbre, mediciones difíciles de evaluar (Papale *et al.*, 2006), y por eso existen métodos más robustos para calcular flujos de carbono a partir de la medición de NEE con alta precisión y exactitud (Kunwor *et al.*, 2017).

Reichstein y *et al.* (2012), expresan el Intercambio Neto del Ecosistema de la siguiente manera:

$$NEE = R_{eco} + GEP$$

donde:

NEE: Intercambio Neto del Ecosistema (Net Ecosystem Exchange)

R_{eco}: Respiración del Ecosistema

GEP: Productividad Bruta del Ecosistema (Gross Ecosystem Productivity)

El intercambio neto de CO₂ en el ecosistema (NEE) es el resultado de los dos flujos mayores de signo opuesto; uno, la absorción de CO₂ por la fotosíntesis denominado GEP (Productividad Bruta del Ecosistema) y el otro, la liberación de CO₂ de la respiración del ecosistema (R_{eco}) (Reichstein *et al.*, 2012).

No obstante Flanagan *et al.* (2017), expresan el Intercambio Neto del Ecosistema de la siguiente manera:

$$-NEE = GEP - TER$$

donde:

NEE: Intercambio Neto del Ecosistema (Net Ecosystem Exchange)

TER: Respiración Total del Ecosistema (Total Ecosystem Respiration)

GEP: Productividad Bruta del Ecosistema (Gross Ecosystem Productivity)

La Respiración Total del Ecosistema (TER) planteada por Reichstein *et al.* (2012), sólo difiere en el uso de este término en vez de R_{eco} , al cual Soloway *et al.* (2017) lo denomina R, y los autores definen que con los flujos de la atmósfera a la biosfera, considerados negativos por la convención de meteorología, R_{eco} es siempre positivo; GEP es negativo o cero durante la noche y NEE da una medida del secuestro de carbono del ecosistema, pero por sí mismo no describe los procesos responsables del flujo de carbono. R_{eco} y GEP son necesarias para obtener información sobre los procesos que contribuyen a NEE y los efectos en los ecosistemas (Flanagan *et al.*, 2017; Soloway *et al.* 2017; Reichstein *et al.*, 2012).

Para el modelado de R_{eco} existe la preocupación sobre el uso de datos nocturnos por no ser de la mejor calidad; el enfoque ajusta un modelo para las observaciones de NEE diurnas, ya que tomar la radiación y el déficit de presión de vapor en GEP, así como los efectos en la temperatura en R_{eco} , (Reichstein, *et al.*, 2012), complementa métodos basados en los datos nocturnos, y se describe como un simple y común modelo de efectos de la radiación de la densidad de flujo de fotones activos (PPFD), que se puede cambiar también cuando la radiación es global por R_g en la NEE (Kunwor *et al.*, 2017; Ueyama *et al.*, 2014; Reichstein, *et al.*, 2012)

Por un lado, Kunwor *et al.* (2017) y Reichstein *et al.* (2012), expresan el Intercambio Neto del Ecosistema de la siguiente manera:

$$NEE = \frac{\alpha_{RH}\beta_{RH}PPFD}{\alpha_{RH}PPFD + \beta_{RH}} + \gamma_{RH}$$

donde:

NEE: Intercambio Neto del Ecosistema (Net Ecosystem Exchange)

α_{RH} : Pendiente inicial de la curva de respuesta a la luz

β_{RH} : GEP por la saturación de la luz

PPFD: Densidad de Flujo de Fotones Activos (Photosynthetically Active Photon Flux Density)

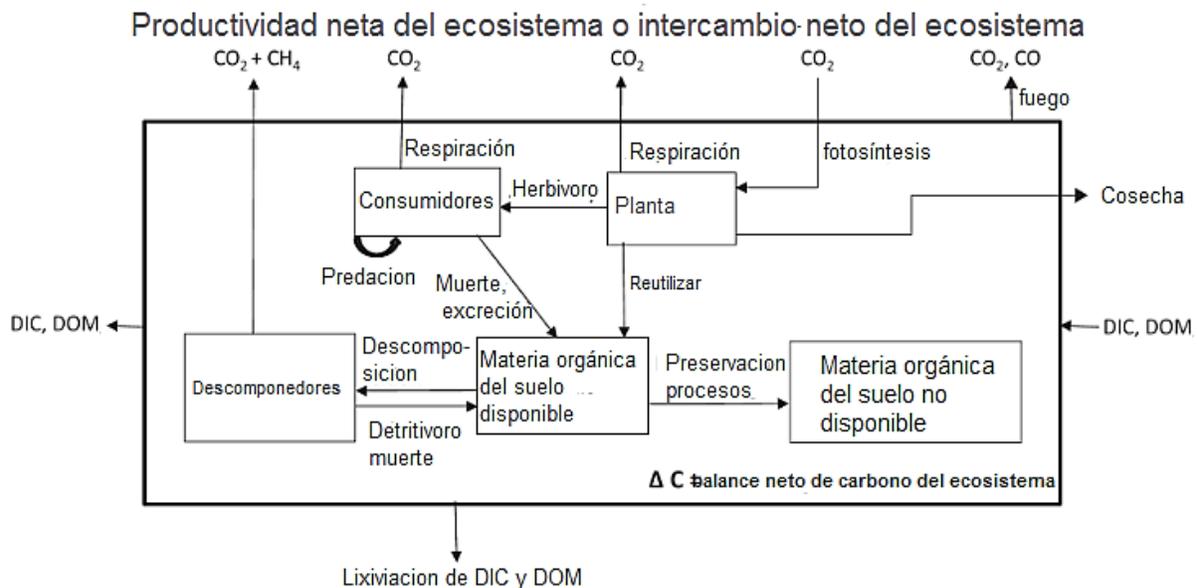
Υ_{RH} : Parámetro de intercepción a la luz cero que representa al R_{eco} .

La ecuación de la hipérbola basada en flujos diurnos para llenado de brechas o incertidumbres, que a menudo tiene ligeras modificaciones relativas a los parámetros (Soloway *et al.*, 2017; Kunwor *et al.*, 2017; Reichstein *et al.*, 2012).

1.4.2 Balance Neto de Carbono del Ecosistema

El ciclo básico del carbono es una parte general para cualquier ecosistema terrestre, con múltiples usos y variaciones de elementos en algunos tipos de ecosistemas (Burba, 2013; Lii *et al.*, 2009), cuya representación se ilustra en la Figura 1-4.

Figura 1-4. Ciclo de carbono en el ecosistema.



Fuente: Batzer *et al.* (2006)

donde:

DIC: Carbono inorgánico disuelto

DOM: Materia orgánica disuelta

En el ciclo del carbono, los flujos de DIC y DOM pueden entrar y salir de un ecosistema, dependiendo de la fracción de carbono que se está acentuando o no (Burba, 2013; Lii *et al.*, 2009). El ciclo define la Productividad Primaria Neta del Ecosistema (NEP) como la producción de compuestos orgánicos por las plantas durante un periodo de tiempo (Batzer *et al.*, 2006), y es entendida como la diferencia entre la absorción del CO₂ de la planta en la fotosíntesis (o Productividad Primaria Bruta, GPP) y la respiración de la planta como resultado del cambio de uso de la tierra o del cultivo (He *et al* 2017; Rugani *et al* 2017; Lii *et al.*, 2009), donde participan especies consumidoras y descomponedoras que intervienen en la NEP como indicadores cruciales de la productividad de los sistemas de producción (He *et al* 2017; Burba, 2013; Lii *et al.*, 2009).

El Balance Neto de Carbono del Ecosistema (NECB) es el cambio en el almacenamiento de carbono en el ecosistema, y se define como el efecto neto en el secuestro de carbono que cuantifica mediciones de los flujos durante el desarrollo del cultivo; compara diferentes cultivos y por medio de éste, se pueden evaluar los impactos de las prácticas de manejo y los sistemas de medición de flujos, con el fin de comparar las prácticas de manejo y cuantificar los impactos de los flujos de carbono (Wohlfahrt *et al.*, 2012).

Wohlfahrt *et al.* (2012), expresan el balance neto de carbono del ecosistema de la siguiente manera:

$$1) \text{ NBP} = \text{NECB}$$

$$2) \text{ NECB} = \text{NEP} + F_{\text{CH}_4\text{-C}} + F_{\text{voc}} + F_{\text{fuego}} + F_{\text{estiércol}} + \\ F_{\text{cosecha}} + F_{\text{producto-animal}} + F_{\text{lixiviación}} + F_{\text{erosion}}$$

donde:

NBP: Productividad Neta de la Biomasa (Net Biome Productivity)

NECB: Balance Neto de Carbono del Ecosistema (Net Ecosystem Carbon Balance)

NEP: Productividad Neta del Ecosistema (Net Ecosystem Productivity)

F_{CH_4-C} : Flujos de metano

F_{VOC} : Flujos de intercambio de compuestos orgánicos volátiles

F_{Fuego} : Flujos de fuego

$F_{Estiercol}$: Flujos de estiércol

$F_{Cosecha}$: Flujos de cosecha

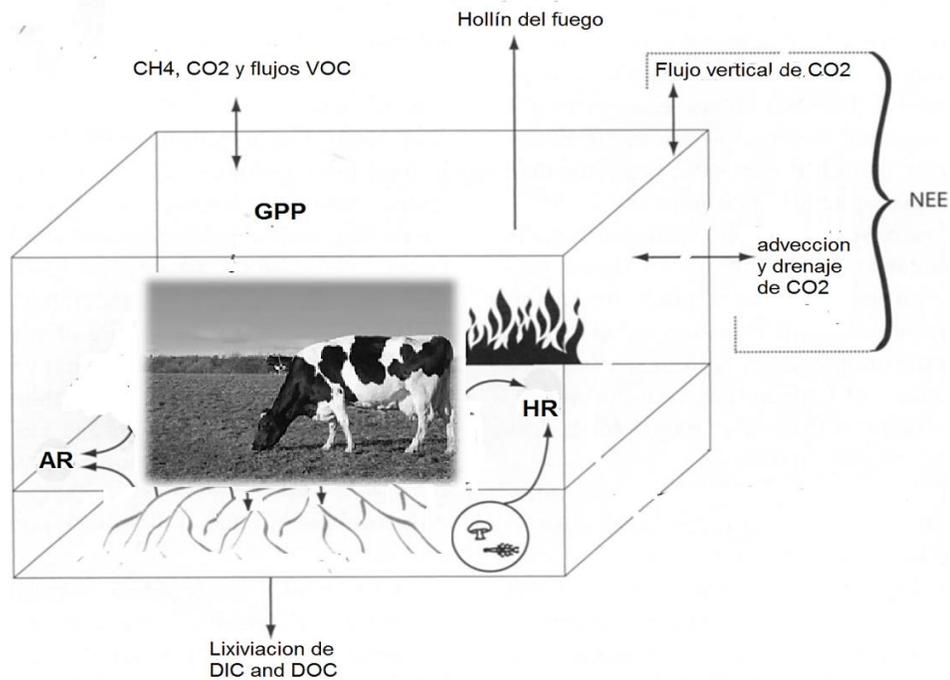
$F_{Producto-animal}$: Flujos de producto de origen animal

$F_{Lixiviacion}$: Flujos de lixiviación

$F_{Erosion}$: Flujos de erosión

El NECB es el balance de masa de los flujos presentados, tal como aparece en la Figura 1-5 (Lii *et al.*, (2009).

Figura 1-5. Componentes principales del Balance de Carbono Neto del Ecosistema (NECB).



Fuente: Lii *et al.* (2009)

donde:

GPP: Producción primaria bruta dentro del ecosistema (Gross primary production)

AR: Respiración autótrofa dentro del ecosistema

HR: Respiración heterótrofa del ecosistema

DIC: Salida de carbono inorgánico disuelto (Dissolved inorganic carbon)

DOC: Salida de carbono orgánico disuelto (Dissolved organic carbon)

NEE: entradas y salidas del intercambio neto del sistema (Net Ecosystem Exchange)

Se sintetizan los componentes principales del NECB, que representan el cambio en el almacenamiento de carbono en el ecosistema, en términos del efecto neto en el secuestro de carbono, donde los componentes NEP y GPP son procesos del carbono en un ecosistema, y por lo tanto son los flujos que dominan el NECB; la respiración del ecosistema, identificada como una caja, es la suma de la respiración autotrófica (AR) y la heterotrófica (HR) (Lii *et al.*, 2009; Chapin *et al.*, 2006).

La ecuación es una convención de signos, un flujo de carbono es positivo cuando indica una ganancia por el ecosistema, y un flujo negativo, cuando muestra una pérdida para la atmósfera; por eso se distinguen grupos adoptando una convención de signos positivo y negativo (Wohlfahrt *et al.*, 2012).

1.5 Metodología de Conocimiento Profundo.

Tal como se ha enunciado, los sistemas de producción ganadera, por su estructura y función, son considerados sistemas complejos, definidos por propiedades tales como la no linealidad, la retroalimentación y la autoorganización. De manera más explícita, para la primera, se debe considerar la interacción entre el ganado bovino con elementos no lineales como el pasto, los flujos de energía y los ciclos de nutrientes; para la segunda, el rendimiento del animal asociado al consumo de pasto (dependencia entre la disponibilidad de forraje y la presión de pastoreo); y para la tercera, las interacciones entre los elementos principales del sistema, pasturas y animales (Gliessman *et al.*, 2007).

Este comportamiento no lineal de los agroecosistemas ganaderos, hace necesario adoptar un enfoque de la producción bovina como un sistema complejo; al analizar la dinámica de los GEI como un proceso de tipo no lineal, posibilita interpretar los efectos de la histéresis como una interacción del bovino con la estructura y la función de su entorno y su

participación en el ciclo del carbono. Efectos definidos como aquellos cambios abruptos y no predecibles a través del tiempo y del espacio, cuando la interacción del animal, hace que ciertos umbrales críticos sean rebasados y el ecosistema transita hacia estados alternativos de equilibrio (Groffman *et al.*, 2006).

La transición o histéresis, implica un cambio en la dominancia de la retroalimentación opuesta (feedbacks), positiva y negativa; proceso de retrocontrol positivo (desestabilizador) dominante sobre uno negativo (estabilizador), que fuerza al ecosistema a superar un umbral crítico, lo que resulta en un desplazamiento hacia un estado alternativo de equilibrio (Briske *et al.*, 2006).

La ocurrencia de histéresis en sistemas de pasturas sometidos a incrementos en la presión de pastoreo (Kinzig *et al.*, 2006), tiene un ligero efecto sobre la receptividad de la pastura, pero eventualmente, puede empujar al sistema más allá de un umbral crítico que colapsa la pastura y desencadena una invasión arbustiva. Aunque se reduzca la presión, el sistema no retorna naturalmente a su estado original porque entró en un nuevo equilibrio inestable, no reversible, al superar el umbral crítico (Viglizzo, 2008).

Desde la perspectiva sistémica, el conocimiento agropecuario está diseñado para problemas que ocurren en una ventana de tiempo y espacio reducida. Así, los procesos complejos, requieren un enfoque espacial y temporal diferente al convencional (Viglizzo, 2008). En consecuencia, esta investigación, plantea problemas singulares que la ciencia agropecuaria clásica no siempre logra resolver con éxito. Incorpora en el análisis grandes volúmenes de datos a través de CRISP-DM (por sus siglas en inglés CRoss Industry Standard Process for *Data Mining*) y KDD (por sus siglas en inglés *Knowledge Discovery in Databases*) derivados de las interacciones propias del agroecosistema ganadero, con un elemento transversal, la técnica EC y los conceptos que la subyacen, enfocados a la comprensión ecológica de este espacio, en el marco de la agroecología como ciencia (Fort *et al.*, 2017; Hoffman *et al.*, 2014; Gliessman, *et al.*, 2007).

Esta propuesta de análisis dinámico responde a las fluctuaciones temporales y espaciales, toma en cuenta la contribución de los bovinos a los servicios del ecosistema y liga los sistemas de producción con los sistemas de gestión humana (Hoffman *et al.*, 2014), explicita la estructura y la función de la relación planta-animal-hombre en un

entorno, que es evaluado por medio de las pérdidas de conversión y las externalidades ambientales asociadas (Fort *et al.*, 2017; Hoffman *et al.*, 2014).

Se trata de un modelo sistémico de interacción compleja, que usa herramientas de análisis agroecológico para comprender la dinámica de los GEI en los agroecosistemas ganaderos, a través del estudio de las relaciones e interacciones dentro de un sistema y entre los componentes del paisaje (Lovell *et al.*, 2010; Gliessman, *et al.*, 2007; Francis *et al.*, 2003); demostrando así, que la agroecología acompañada del análisis cuantitativo, puede contribuir a generar alternativas de diseño y manejo de agroecosistemas para enfrentar los retos globales actuales, y contribuir al desarrollo sostenible (Gliessman, *et al.*, 2007).

Con los elementos expuestos para abordar el tema de los GEI en la producción bovina, como un arreglo holístico que integra diferentes componentes y procesos para optimizar la productividad, se busca destacar la importancia que tienen las relaciones e interacciones entre los bovinos, las plantas y los demás constituyentes del agroecosistema, y que incluyen además al productor y sus decisiones (Francis *et al.*, 2003). Es necesario entonces, señalar que la gestión de los sistemas productivos debe experimentar transformaciones, que implican el cambio ocasionado por las nuevas necesidades que tienen los productores (Carvalho y Campos, 2009; Deming, 1986; Maguad, 2011).

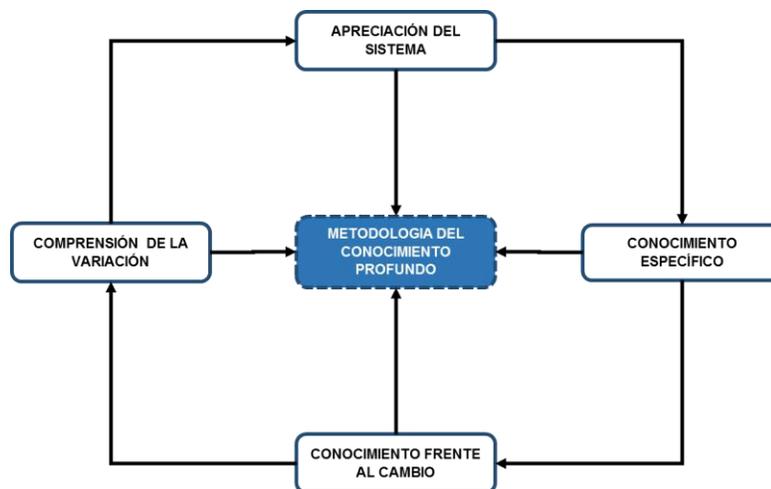
La teoría del conocimiento profundo propuesta por Deming (1900-1993), se aplica a la gestión del cambio a partir de un conocimiento encontrado, aplicable a la estructura agraria en continua evolución (Adleman *et al.*, 2017; Malizia *et al.*, 2017; Nosek *et al.*, 2017; Acuña, 2016; Lohr, 2015; Black y Copsey, 2014; Muftoz, 2014; Chiarini, 2011; Avery, 2010; Ortega *et al.*, 2010; Albornoz y Jiménez, 2008; Stepanovich, 2004; Gapp, 2002; Cunningham *et al.*, 2000; Deming, 2000). Esta teoría se puede implementar en los sistemas agropecuarios en el proceso de toma de decisiones para enfrentar problemas del sistema (Paredes, 2008; Paredes, 2002; Capriles, 1998).

Así, el agroecosistema se constituye en el eje central para buscar el cambio en sí mismo, a partir del conocimiento encontrado (Adleman *et al.*, 2017; Malizia *et al.*, 2017; Nosek *et al.*, 2017; Acuña, 2016; Lohr, 2015; Paredes, 2007; Deming, 2000); también denominado profundo, debido a que el conocimiento procura transformar las percepciones de los

productores y de los medios de producción. Procura modelos productivos referentes, que se apliquen a los sistemas para lograr modificarlos y, por ende, a la sociedad, como parte de la transformación en el panorama de la producción (Kuntz, 2015; Black y Copsey, 2014; Deming, 1993). Maguad (2011) señala que se requiere la comprensión del sistema de conocimiento profundo y la aplicación de sus principios para lograr un oportuno y adecuado sistema (Lohr, 2015; Cunningham *et al.*, 2000).

Como se aprecia en la Figura 1-6, la teoría de conocimiento profundo establece 4 componentes interdependientes, para ser aplicados a los procesos de los sistemas, con el objeto de lograr un desarrollo hacia el conocimiento: i) Apreciación del Sistema, ii) Comprensión de la Variación, iii) Conocimiento Específico y iv) Conocimiento frente al Cambio (Acuña, 2016; Lohr, 2015; Chiarini, 2011; Maguad, 2011; McCollin *et al.*, 2011; Paredes, 2007; Rungtusanatham *et al.*, 2003; Stepanovich, 2004; Cunningham *et al.*, 2000; Deming, 2000).

Figura 1-6. Sistema de conocimiento profundo aplicado a sistemas ganaderos.



Fuente: Adaptado de Capriles (1995); Deming (1993); Paredes (2007).

Las 4 áreas de conocimiento interactúan y se complementan entre sí, para proporcionar el razonamiento y el entendimiento necesarios, que constituyen la base para la articulación de los principios de cambio y transformación en el sistema agrario (Rungtusanatham *et al.*, 2003); no hay aprendizaje del conocimiento sin una teoría, de ahí que el camino de la

transformación requiere una comprensión aguda del sistema (Deming 1993).

El resultado deseado del uso de la teoría es, que los componentes individuales del sistema, en lugar de ser competitivos, se refuercen mutuamente para lograr el objetivo; proporcionar una visión que permita entender el sistema (Evans, 1996). Cada innovación genera la necesidad de modificar los elementos del sistema, para lograr las transformaciones posteriores que determinan el progreso (Domínguez *et al.*, 2009).

El modelo sirve de marco indispensable frente a problemas complejos, como lo son la dinámica, efectos e impactos de los GEI o la estructura y función de los agroecosistemas, al constituirse como herramienta de apoyo a las metodologías para el estudio y mejoramiento de los sistemas de producción (Paredes, 2008; Paredes, 2007; Capriles y Capriles, 1995). Los principios exigen la claridad de los propósitos para determinar una dirección correcta; al desarrollar una gran capacidad de síntesis para abstraer los elementos fundamentales, se podrán seleccionar y ordenar en el sistema (Leos *et al.*, 2008; Paredes, 2007).

El conocimiento se fundamenta en una teoría y por medio de la teoría, predecir el porvenir (Chiarini, 2011); componente dinámico que puede ser derivado del uso del *CRISP-DM* y el *KDD* a partir de volúmenes de datos. El uso del pensamiento sistémico como elemento para examinar y probar los elementos, utiliza el conocimiento de los sistemas (Black y Copsey, 2014); forma de abordar el análisis de los GEI en agroecosistemas ganaderos utilizando la técnica EC.

Los agroecosistemas están conformados por una estructura y una función, determinantes necesarios al emplearse de igual manera (Waddington *et al.*, 2014; Peña, 2012; Gargoloff *et al.*, 2011; Moreno y Rubiano, 2011; Ponce, 2011; Paredes, 2007; Capriles, 1998; Gliessman, 1995). El uso que se ha hecho por parte de los seres humanos de tales determinantes, al implementar actividades que se han practicado en la agricultura moderna, contribuye a la producción de GEI (Parrado, 2015).

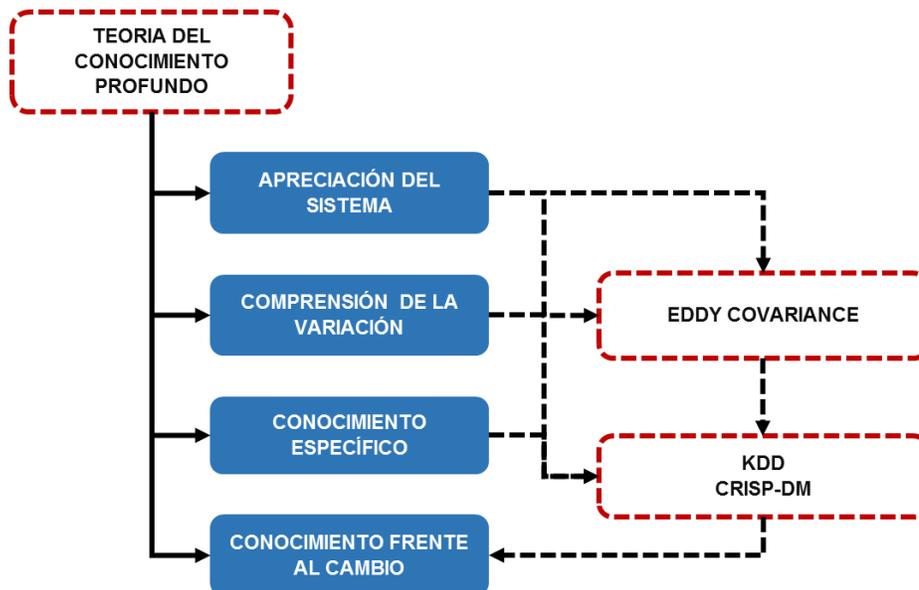
Entender y cuantificar los componentes del ciclo del carbono, ha contribuido a que las emisiones de GEI puedan ser estudiadas implementando modelos meteorológicos, que comprendan los flujos de carbono (Papale *et al.*, 2012). La técnica EC es una metodología

que ofrece información sobre la variabilidad temporal y los controles ambientales del intercambio de dióxido de CO₂, NH₄, N₂O y vapor de agua, entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres, entre otros (Tong *et al.*, 2014; Yang, *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2009). Los datos que captura la torre se convierten en información que ayuda al razonamiento del productor sobre el lugar de su producción (Baldocchi, 2014; Deming, 1993).

La técnica genera volúmenes de datos, que requieren métodos para el procesamiento de los mismos (Rezende *et al.*, 1970); el volumen de datos y la tecnología de la información, son necesarios para traducir los datos en conocimiento, proceso de descubrimiento de información (Kum *et al.*, 2015). El tamaño y la cantidad de datos, ha hecho que se haga imprescindible convertir los grandes volúmenes de datos existentes en experiencia y conocimiento, debido a que son formas útiles para la toma de decisiones y el desarrollo económico y social contemporáneo (Cruz *et al.*, 2009); el desarrollo de metodologías como el *KDD* y el *CRISP-DM*, son referentes más usados en el proceso de inferencia de información (López *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2009).

En la Figura 1-7, se presenta la integración entre las diferentes teorías que conforman el Conocimiento Profundo, a la luz de la aplicación de la metodología *EC*, *CRISP-DM* y *KDD*, en el marco del análisis de los GEI en agroecosistemas ganaderos.

Figura 1-7. Mapa Conceptual: Modelo de Integración entre las metodologías *EC*, *KDD* y el *CRISP – DM* y la Teoría del Conocimiento Profundo.



Fuente: Elaboración propia

El *KDD* es un método que se fundamenta en un enfoque riguroso para integrar, procesar, modelar y distribuir datos (Kum *et al.*, 2015), con el uso de la minería de datos; sin embargo, el *KDD* integra un sentido más amplio de la extracción de la información (Beheshtian *et al.*, 2018; Grady, 2016). El proceso de *KDD*, es proveniente del ámbito informático y computacional, donde ha permitido pasar de la identificación de regularidades estadísticas presentes en el flujo informático acumulado en bases de datos, al descubrimiento de conocimiento en los nuevos repositorios de datos (Gorbea, 2013; Gil y Valencia, 2012); identifica patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles, dadas las preocupaciones del campo o la industria (Grady, 2016; Kum *et al.*, 2015; Gil y Valencia, 2012; Duque *et al.*, 2010),

CRISP-DM es la metodología más usada por los sistemas, como estándar para el descubrimiento de conocimiento en bases de datos (Kalgotra y Sharda, 2016; Paik, 2016; Cruz *et al.*, 2009), por ser una herramienta que ayuda a la toma de decisiones por parte del productor (Contreras, 2016; Paredes 2007); para el presente trabajo, le incorpora al *KDD* una concepción amplia y moderna (Paredes, 2007). Específicamente, los pasos de comprensión del problema, captura de información, preparación de los datos, minería de datos y evaluación e interpretación del conocimiento adquirido (Roiger, 2017; Mezzanzanica *et al.*, 2015; Lara *et al.*, 2014; Boval y Dixon, 2012; Evrendilek, 2012; Moine, 2013; Cruz *et al.*, 2009; Benítez y Diez, 2005), que al combinar el *KDD*, la metodología se robustece para el análisis de los GEI en agroecosistemas ganaderos, tal como se presenta en la Figura 1-8.

Figura 1-8. Integración entre las metodologías EC, KDD y el CRISP – DM y la Teoría del Conocimiento Profundo.

TEORÍA DEL CONOCIMIENTO PROFUNDO		KDD		CRISP - DM		EDDY COVARIANCE	
Paso metodológico	Fuente	Paso metodológico	Fuente	Paso metodológico	Fuente	Paso metodológico	Fuente
Apreciación del Sistema	Bhote, 1994; Capriles y Capriles, 1995; Deming, 2000; Hoare, 1996; Lagrosen y Travis, 2015; Lohr, 2015; Mauro y Mauro, 1999; Neubeck, 2016; Vertiz, 1992	Almacenamiento de datos	Alah et al., 2005; Gómez & Bautista, 2010; Han et al., 2012; Linstedt y Oshimke, 2016; Roiger, 2017; López & González, 2007; Rizzi et al., 2010; Teixeira et al., 2015	Comprensión del problema	Camargo y Silva, 2011; Hernández y Carlos, 2017; Moine, 2013; Roiger, 2017	El problema	Marín et al., 2017b; Munger et al., 2012; Muraka y Koizumi, 2009; Vargas et al., 2013
	Comprensión de la Variación			Capriles y Capriles, 1995; Deming, 2000; Lagrosen y Travis, 2015; Lohr, 2015; Mauro y Mauro, 1999; Neubeck, 2016	Comprensión de los datos	Hernández y Carlos, 2017; Moine, 2013; Roiger, 2017	La torre
Conocimiento Específico	Batalden y Nelson, 1990; Buckler, 1998; Deming, 1998; Lagrosen y Travis, 2015; Maguad, 2011; Mauro y Mauro, 1999; Neubeck, 2016; Vertiz, 1992			Preparación de los datos	Ballesteros et al., 2013; Han et al., 2012; Krishnan, 2013; Lara et al., 2014; Moine, 2013; Navar y Mbazzen, 2017; Ristoski & Paulheim, 2016; Roiger, 2017; Romero, 2017; Zhu et al., 2017	Adquisición y data transfer	Burba, 2013; Eubinet et al., 2012
				Minería de datos	Ballesteros et al., 2013; De Batista et al., 2016; Fuentes et al., 2016; Han et al., 2012; López et al., 2016; Moreno y Iñares et al., 2017; Roiger, 2017	Modelado	Hernández y Carlos, 2017; Moine, 2013; Roiger, 2017
Conocimiento frente al Cambio	Batalden y Nelson, 1990; Buckler, 1998; Deming, 1998; Lagrosen y Travis, 2015; Maguad, 2011; Mauro y Mauro, 1999; Neubeck, 2016	Evaluación Interpretación	Calderon, 2016; Cardona et al., 2016; Holzinger et al., 2014; Mezzanzanica et al., 2015; Moine, 2013; Ristoski & Paulheim, 2016; Roiger, 2017; Ruiz et al., 2014; Zhu et al., 2017	Evaluación e implementación	Hernández y Carlos, 2017; Moine, 2013; Roiger, 2017	Uso de la información	Hojstrup, 1993; Vickers y Mairt, 1997
		Usos de datos comprensibles	Calderon, 2016; Cardona et al., 2016; Mezzanzanica et al., 2015; Ristoski & Paulheim, 2016; Roiger, 2017				

Fuente: Adaptado de Hernández y Carlos (2017); Roiger (2017); Zhu *et al.* (2017); Calderon (2016); Cardona *et al.* (2016); Ristoski y Paulheim (2016); Matthes *et al.* (2015); Meshalkina *et al.* (2015); Mezzanzanica *et al.* (2015); Vásquez *et al.* (2015); Fu *et al.* (2014); Holzinger *et al.* (2014); Ruiz *et al.* (2014); Moine (2013); Burba (2013); Eubinet (2012); Baldocchi (2008).

1.5.1 Apreciación del Sistema.

El pensamiento sistémico como punto de vista holístico, permite discernir la complejidad de las interacciones del medio natural con el productivo, buscando entender las relaciones, las tendencias, los procesos, las funciones y las actividades, e identificar patrones profundos

en el funcionamiento del agroecosistema, con el ánimo de comprender los problemas y visualizar sus soluciones (Neubeck, 2016; Lagrosen y Travis, 2015; Mauro y Mauro, 1999; Hoare, 1996; Puignau, 1990; Ramírez, 2002; Saravia, 1985). Como una forma de evaluar y analizar agroecosistemas, con el fin de dar respuesta a las inquietudes sobre su impacto en el entorno y desempeño productivo a nivel local y regional (Deming, 2000; Inda, 2006; Lohr, 2015; Páez *et al.*, 2003).

Los flujos de información en un sistema abierto están relacionados con la energía que lo transita; relación que se hace evidente en los sistemas naturales, en los que la interacción entre la materia y la energía da lugar a estructuras y formas diversas de distinta complejidad y niveles de organización. En un agroecosistema, existe información ambiental, económica y social establecida sobre la base de las decisiones del productor, que genera un vínculo con la información de la materia y de la energía para producir bienes, servicios y residuos (Aguilar *et al.*, 2016; Carulla, 2003; Figueroa, 2016; Malagón *et al.*, 2001; Milz, 2009; Moreno *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2008; Ruíz *et al.*, 2001; Zúniga, 2011).

En el agroecosistema, toda actividad realizada tiene una respuesta como contrapartida; cada interacción o intercambio, por mínimo que sea, representa potencialmente un mecanismo de regulación, que mantiene un equilibrio dinámico con ciclos interconectados, coordinados y sincronizados (Rosnay, 1975). El agroecosistema hace parte de un paisaje, que simultáneamente cuenta con limitantes inherentes a la realidad que deben ser superados para un mayor entendimiento del funcionamiento del sistema, ya que éste no responde a criterios simples y organizados de optimización (Norman *et al.*, 1995; Ospina, 2011; Páez *et al.*, 1998; Paredes, 2002; Ruiz *et al.*, 2001).

Todos los agroecosistemas tienen una función principal, la cual es el objetivo o la finalidad del sistema, que necesariamente conlleva a la transformación de los flujos de materia, energía o información (Bytheway, 2012; Ruiz, 2013; Marpegán *et al.*, 2009; Masala, 2013); objetivo que requiere de la combinación de funciones ecosistémicas para obtener beneficios de las propiedades y procesos biogeoquímicos *per se* de los ecosistemas (De Groot *et al.*, 2002; Laterra *et al.*, 2009). En el proceso de transformación de material fibroso en leche y carne, se generan GEI, los cuales van a la atmósfera desde estos sistemas abiertos, para producir efectos e impactos en la sociedad (Caro *et al.*, 2017).

Lo que se busca es entender y comprender cómo funciona la técnica EC a la luz de la emisión de GEI en el agroecosistema ganadero bajo estudio; aspecto definitorio para el análisis desde el enfoque sistémico, al considerar el agroecosistema en su conjunto y no por componentes separados. El balance de captura o emisión, se debe evidenciar como un resultado del sistema. Medir un microclima e intercambios escalares de los ecosistemas por encima del dosel presenta una serie única de desafíos, para determinar y comprender la fluctuación de carbono a escala ecosistémica (Marín *et al.*, 2017b; Vargas *et al.*, 2013; Munger *et al.*, 2012; Muraoka y Koizumi, 2009).

Los ecosistemas son estructural y funcionalmente diversos; compuestos por los organismos (plantas, microbiota del suelo y animales) y los procesos biogeoquímicos (ciclos de materia y energía), en los ambientes donde se encuentran y con dinámicas propias asociadas (Munger *et al.*, 2012; Muraoka y Koizumi, 2009). En este contexto, para el carbono, la estructura significa el dosel, las hojas, las ramas, los tallos, las raíces y los microorganismos del suelo, que constituyen el ecosistema, y la función significa la fotosíntesis, la respiración y el consiguiente presupuesto y secuestro de carbono (Muraoka y Koizumi, 2009).

En un agroecosistema ganadero, el intercambio de carbono se debe en mayor parte al CO₂, y a varios procesos que intervienen en su flujo; las plantas toman carbono vía fotosíntesis y lo pierden por la respiración. La diferencia entre las dos se denomina Productividad Primaria Neta (PPN). El carbono se pierde continuamente por la respiración heterotrófica, principalmente en el suelo, la cual resulta de la actividad de la descomposición de microorganismos de materia orgánica; el resultado de PPN, menos la respiración heterotrófica, es la producción neta del ecosistema. Una vez que se la mide en la interface con la atmósfera, se le denomina Intercambio Neto del Ecosistema (Net Ecosystem Exchange o NEE por sus siglas en inglés).

La importancia del clima es definitiva en todos los intercambios de la superficie, como se ejemplifica con el caso de la evapotranspiración, la precipitación y el flujo de CO₂; ya que controla los flujos mediante la radiación neta, la temperatura, el viento y la humedad del aire. Otro aspecto importante, es que con la temperatura y humedad del aire, la velocidad del viento, la radiación solar y la precipitación, se puede describir el clima, y con ello

explicar la dinámica de los cambios climáticos regionales en función de su variación en una determinada región, temporalidad y localización (Ribeiro, 2011).

La técnica EC cuantifica y analiza las variaciones espacio-temporales en el almacenamiento de carbono en plantas, suelo y en el intercambio de carbono (Marín *et al.*, 2017b), por medio de una torre que captura datos de manera continua de los flujos de CO₂, en función de un ecosistema específico (Muraoka y Koizumi, 2009). La ubicación es lo más importante, ya que debe representar el ecosistema en estudio, y el tamaño del área de interés, debe ser lo suficientemente grande como para proporcionar suficiente captura de los flujos (Burba, 2013; Aubinet *et al.*, 2012); condiciones como la estabilidad atmosférica, advección de energía y la ubicación instrumental, pueden influir en la sensibilidad y desempeño de los sistemas para evaluar los flujos conducidos por turbulencia (Xu *et al.*, 2017; Balbontín *et al.*, 2011)

Los requisitos micrometeorológicos, para establecer la torre, incluyen la búsqueda adecuada para todas las direcciones del viento deseadas y la estabilidad atmosférica, donde deben estar centrados en el lado del viento del dosel vegetativo homogéneo espacialmente plano y estructuralmente uniforme o al menos manejable, para que los supuestos se mantengan o se corrijan, en la práctica, a menudo, difíciles de conseguir, ya que casi siempre los doseles son heterogéneos (Burba, 2013; Eubinet *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2011). Los requisitos prácticos, como la disponibilidad de energía y el acceso deben ser considerados al planificar la ubicación del sitio y el posicionamiento de la estación (Burba, 2013).

La torre también deben estar ubicada buscando maximizar el tiempo de exposición de los vientos que soplan desde el tipo de cobertura deseado y con la dirección de viento más larga posible, dado que algunos ecosistemas no tienen un tipo de cubierta uniforme; los vientos prevalecientes, el tipo de cobertura y la topografía, deben ser analizados previamente para determinar el área de la fuente bajo diferentes estabilidades, velocidad del viento y dirección (Burba, 2013; Eubinet *et al.*, 2012).

La torre posee generalmente un analizador de gases y un anemómetro sónico (Goodrich *et al.*, 2016; Burba, 2013), que son los sensores más importantes de la instrumentación. La configuración de estos sensores necesita a menudo adaptarse a los requisitos específicos de

ese entorno y de la infraestructura disponible, y por lo tanto puede variar en diferentes sitios (Goodrich *et al.*, 2016; Eubinet *et al.*, 2012).

1.5.2 Comprensión de la Variación.

La técnica EC implementa para el tratamiento, corrección y cálculo de información, grandes volúmenes de datos que son tomados por la torre que capta los flujos de CO₂ y otros gases (Aubinet *et al.*, 2012; Heusinger *et al.*, 2017; Kunwor *et al.*, 2017; Prajapati *et al.*, 2017; Schmutz *et al.*, 2016); produce un gran volumen de datos, que con nuevos equipos y metodologías ayudan al procesamiento y manejo de la información, generan y estructuran nuevo conocimiento (Roiger, 2017; Caballero *et al.*, 2016; Dehning *et al.*, 2016; Mezzanzanica *et al.*, 2015; Baldocchi, 2014; Batini *et al.*, 2009; Madnick, *et al.*, 2009; Fox *et al.*, 1994).

Los avances en las tecnologías para recolección, almacenamiento, análisis y procesamiento de información, han contribuido a la generación de grandes volúmenes de datos, los cuales significan una mejora como fuente de conocimiento y apoyo a la toma de decisiones (Adhikari *et al.*, 2015). Acceder a éste conocimiento se ha convertido en una necesidad creciente, que requiere de esfuerzos adicionales que garanticen la calidad y el procesamiento de los datos (Mezzanzanica *et al.*, 2015; Rezende *et al.*, 1970).

Entre los factores que han llevado al crecimiento de la capacidad de generar y coleccionar datos, están la disponibilidad y la evolución de las tecnologías de almacenamiento a menores costos, la acumulación de datos a un ritmo creciente y la introducción de nuevos métodos para el procesamiento de información. La recolección de una gran cantidad de datos se ha vuelto de interés, ya que un volumen significativo de datos, es una fuente de conocimiento importante que se puede usar en procesos de toma de decisiones; el conocimiento derivado de bases de datos, se ha convertido en una necesidad, y se ha dedicado un gran esfuerzo para resolver problemas de calidad de datos y procesamiento de información (Adhikari *et al.*, 2015; Mezzanzanica *et al.*, 2015, Pipino *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1996).

La complejidad en el manejo de los datos es una preocupación por la incertidumbre que causa la información incompleta, alterada, con ruido y no estructurada generada por las torres EC (Ovengalt *et al.*, 2016; Ranjitha *et al.*, 2016); la inmensa cantidad de datos, hace que éstos se acumulen rápidamente, con información de uso limitado

debido a las dificultades e imprecisión en su manejo (Chen *et al.*, 2009). En adición al desarrollo de sensores, se genera un número creciente de datos heterogéneos, que se recogen en volúmenes masivos de información (Zhang *et al.*, 2018); los datos requieren métodos para su procesamiento, y con el volumen de datos y las tecnologías de información actual, como elementos necesarios para traducir los datos en conocimiento que implementa la información conseguida, se dispone de un proceso para el descubrimiento de información (Kum *et al.*, 2015; Rezende *et al.*, 1970).

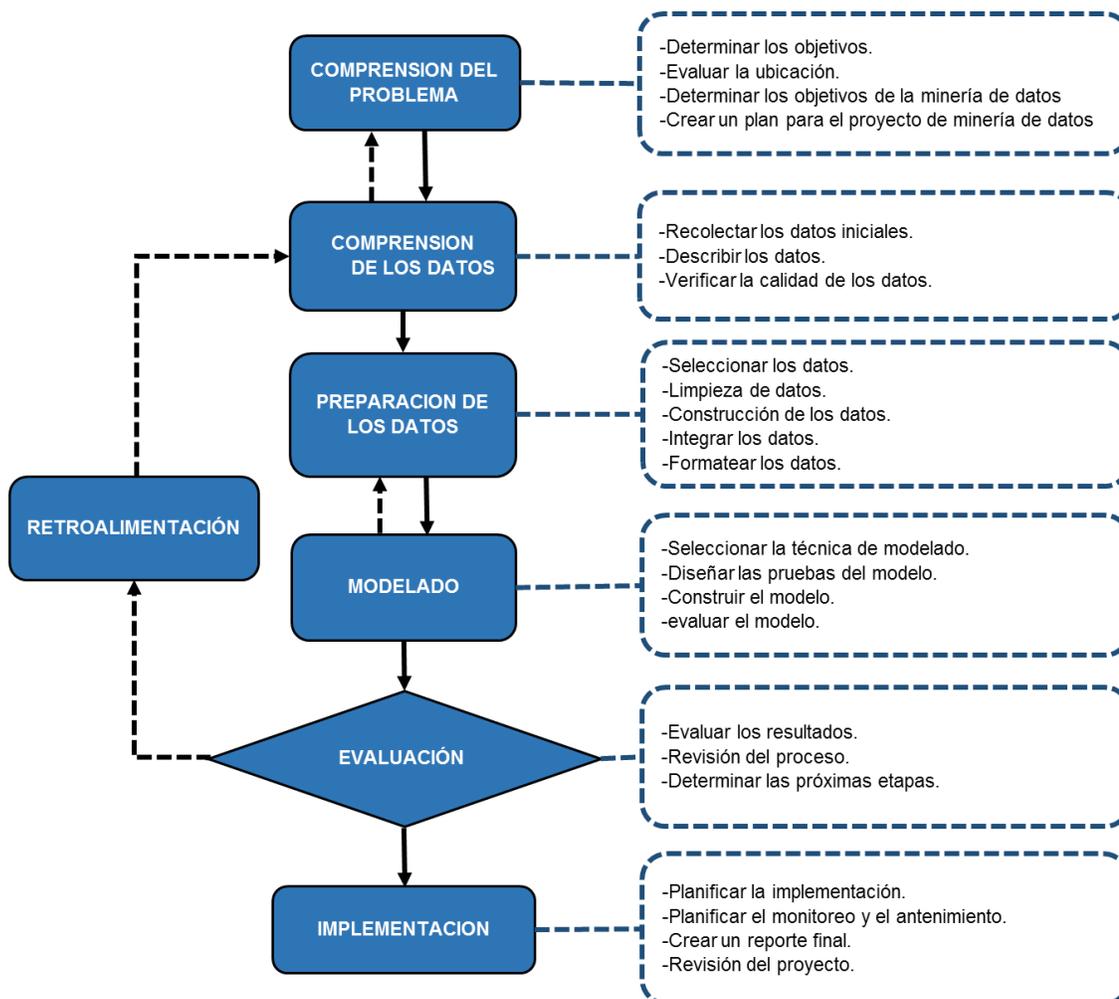
Existen nuevas oportunidades para sintetizar la información y compartirla en redes regionales y globales de usuarios de torres de flujo EC, convirtiendo la información obtenida y procesada en conocimiento mediante el uso de sistemas y modelos para presentar, inferir, almacenar, revisar, manipular, distribuir y descubrir información. Volúmenes de captura de datos que además requiere distinguir los de alta calidad por medio de la interpretación y metodologías de procesamiento (Vuichard y Papale, 2015; Baldocchi, 2014; Foken *et al.*, 2012; Göckede *et al.*, 2004; Vickers y Mahrt, 1997). El desarrollo ha llevado a aplicaciones y sistemas que operan de manera eficiente las bases de datos (Mishra *et al.*, 2016; Waddington y Lin, 2016; Schendel *et al.*, 2012), y metodologías como la minería de datos que ayudan a evaluar el modelo de medición y manejo de grandes volúmenes de datos producidos por las torres de flujo (Zhao y Rosen, 2017).

De la minería de datos, los modelos *CRISP-DM* y *KDD* (Moine, 2013; Camargo y Silva, 2011). *CRISP-DM* (por sus siglas en inglés *C*Ross *I*ndustry *S*tandard *P*rocess for *D*ata *M*ining) es una técnica de minería de datos que formula mediante pasos desde el problema hasta su resolución, aplicaciones que se deben hacer para hacer eficaz la transmisión de conocimiento (Gomez, 2017; Hernández y Carlos, 2017; Roiger, 2017; Camargo y Silva, 2011); y el *KDD* (por sus siglas en inglés *K*nowledge *D*iscovery in *D*atabases) considerada como la mejor técnica, ya que busca identificar patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles a partir de datos (Roiger, 2017; Moine, 2013; Camargo y Silva, 2011; Zhang y Wu, 2011; Escobar, 2007; Frago y Fuentes, 2007; Benítez y Diez, 2005), sin reunir los pasos metodológicos que toma *CRISP-DM*, pero siendo más preciso para el manejo de datos de la torre EC (Roiger, 2017).

Las torres EC producen un flujo creciente de datos, y ese aumento acelerado del tamaño y la cantidad de datos, ha hecho que se haga imprescindible convertir los grandes volúmenes de datos existentes en experiencia y conocimiento, debido a que son formas útiles para la toma de decisiones y el desarrollo económico y social contemporáneo (Cruz *et al.*, 2009). En consecuencia, los avances a partir de modelos como el *KDD* y el *CRISP-DM*, como los estándares que más usan, permiten el desarrollo de metodologías por su posibilidad de explotación de la información (López *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2009).

La metodología *CRISP-DM* (Moine, 2013; Gallego, 2003) es un modelo de minería de datos neutral de abstracción, organizado por una estructura de procesos jerárquicos que contiene tareas que van desde el nivel más general que es la comprensión del problema, hasta los más específicos como la implementación; proporciona un modelo de referencia y guía divididos en seis fases, tal como aparece en la Figura 1-9 (López *et al.*, 2017; Roiger, 2017; Moine, 2013; Gallego, 2003), siendo el actual mecanismo usado por las sociedades (López *et al.*, 2017).

Figura 1-9. Metodología *CRISP-DM*.



Fuente: Adaptada de Gomez (2017); Hernández y Carlos (2017) y Moine (2013).

CRISP-DM es una de las metodologías más reportadas, utilizada exitosamente por ser guía de referencia para el desarrollo sistemático de proyectos de minería de datos (León y Lorenzo, 2017; Moine, 2013; Gallego, 2003), debido a que es un modelo abierto, no ligado a algún producto y fue construida con base a la experiencia; es decir desde un enfoque práctico (Moine, 2013). Consta de cuatro niveles principales (Camargo y Silva, 2011) que no son necesariamente rígidos; dentro del primer nivel, el proceso de minería de datos se organiza en un cierto número de fases, donde cada fase se descompone en un conjunto de tareas genéricas de segundo nivel; incluye subtarefas para el desarrollo que abarcan la mayoría de las situaciones posibles (Moine, 2013; Gallego, 2003). A partir del tercer nivel, se realiza un mapeo de las tareas

genéricas definidas en el modelo a situaciones específicas y así, las tareas genéricas, se traducen en tareas específicas para casos y proyectos concretos; un cuarto nivel donde se describen las acciones, las decisiones y los resultados del proyecto (León y Lorenzo, 2017; Moine, 2013).

El modelo proporciona referencia y guía para quien lo usa (Moine, 2013) y supone al menos un modelo de proceso en el cual no sólo se definen fases, sino que también procesos a realizar con entradas y salidas, aunque no propone como realizar las tareas para cada proceso (Leon y Lorenzo, 2017; Gallego, 2003).

El término *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) o también llamado Descubrimiento de Información en Bases de Datos (Roiger, 2017; Moine, 2013; Zhang y Wu, 2011; Escobar, 2007; Frago y Fuentes, 2007; Benítez y Diez, 2005), es un conjunto de bases de datos que son fuente de información y conocimiento, que se soporta en técnicas de mejora y análisis de la calidad de los datos, al contribuir a garantizar la credibilidad del proceso general (Adhikari *et al.*, 2015; Mezzanzanica *et al.*, 2015; Holzinger *et al.*, 2013; Pasi *et al.*, 2013; Sadiq, 2013). Se emplea la minería de datos y el descubrimiento de conocimiento, que se integran como una sola (Adhikari *et al.*, 2015), debido a que los procesos para la extracción de información y la relación de similitud entre los datos, generan búsquedas de patrones o agrupamiento aparentemente inconexos detectados mediante técnicas como la minería de datos (Benítez y Diez, 2005).

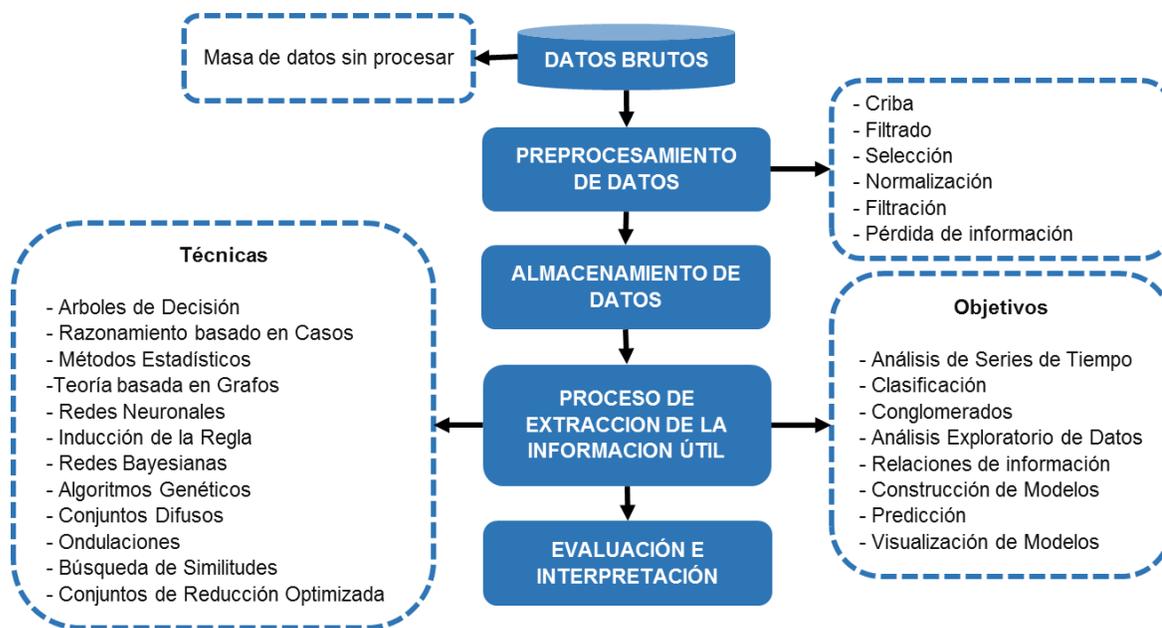
El proceso de *KDD* surge como una tecnología que puede ayudar a la búsqueda de conocimiento en los datos, la extracción de conocimiento es útil, tácito y previamente desconocido para grandes volúmenes de datos; proceso que se adquiere desde la comprensión y la preparación de los datos, hasta la interpretación y utilización de los modelos obtenidos (Caballero *et al.*, 2016; Lara *et al.*, 2014). La búsqueda se puede realizar con diversas técnicas, que pueden facilitar la comprensión; identificar estructuras, características, tendencias, anomalías y relaciones; técnicas que suelen ofrecer mecanismos que facilitan la búsqueda de patrones y/o modelos a partir de bases de datos (Roiger, 2017; Adhikari *et al.*, 2015; Mezzanzanica *et al.*, 2015; Rezende *et al.*, 1970)

Es un análisis exploratorio y de modelado automático de grandes repositorios de datos, donde el proceso es organizado para identificar patrones válidos, novedosos, útiles y

comprensibles a partir de grandes conjuntos de datos complejos (Adhikari *et al.*, 2015; Han y Kamber, 2011), con el propósito de buscar conocimiento e información útil; razón básica de su existencia al tener la necesidad de extraer el conocimiento de grandes repositorios de datos (Betancur, 2010). Las bases de datos son distribuidas en varios nodos de una red, se distinguen por su diferente naturaleza, y por tener rangos acotados; la información puede ser superflua, extra, de refinamiento o de concreción, además de encontrar campos en blanco o con datos erróneos que son fuente de ruido para el análisis (Benítez y Diez, 2005).

Como se aprecia en la Figura 1-10, el *KDD* incluye, el precisar un tratamiento, la conservación adecuada de los datos (*Data Warehousing*), la extracción de la información útil por patrones o técnicas de predicción (minería de datos) y por último, la evaluación e interpretación de la información obtenida, que permitirá la aplicación del conocimiento adquirido para mejorar (Benítez y Diez, 2005).

Figura 1-10. Metodología *KDD*.



Fuente: Adaptado de Benítez y Diez (2005) y Moine (2013)

Al final, el conocimiento del problema y la comprensión de los datos representan al proceso de *KDD* en la identificación de objetivos, la preparación de datos combina el

almacenamiento de los datos y el modelo de proceso, y finalmente el modelado, la evaluación e interpretación, corresponden respectivamente a la aplicación del KDD (Gómez, 2017; Roiger, 2017; Moine, 2013).

Las aplicaciones de KDD han crecido con el aumento de la potencia de cálculo (Tirkel, 2013), y junto con el método, el estándar más común utilizado en la aplicación de *KDD* es el *CRISP-DM* debido a que al examinar estos modelos de minería de datos, se muestra claramente que son de alguna manera equivalentes entre sí, pero la comparación entre ambos, refleja a parte de una alta similitud en sus pasos de proceso, sinergia en la metodología (Shafique y Qaiser, 2014; Tirkel, 2013; Zemmouri *et al.*, 2011, Azevedo y Santos, 2008).

Bartlmae y Riemenschneider (2000) señalan que *KDD* y *CRISP-DM* son metodologías repetitivas, y que las actividades especializadas (tareas) del modelo *CRISP-DM* se representan en *KDD* como acciones (Panov *et al.*, 2013); otros mencionan que el modelo de proceso *CRISP-DM* se enfoca en la metodología de *KDD* (Zemmouri *et al.*, 2011), llegando a la conclusión que ambas metodologías se complementan para el descubrimiento de conocimiento en las bases de datos (Shafique y Qaiser, 2014; Panov *et al.*, 2013; Tirkel, 2013; Zemmouri *et al.*, 2011, Azevedo y Santos, 2008).

Este tipo de metodologías son un gran desafío para el campo de las nuevas tecnologías de procesamiento y almacenamiento de la información, consideradas como de gran valor (Mezzanzanica *et al.*, 2015); son un activo para comprender profundamente los fenómenos sociales, económicos y ambientales, que mejoran la competitividad de los sistemas dinámicos, al ayudar a la toma de decisiones (Lara *et al.*, 2014; Batini *et al.*, 2009; Madnick, *et al.*, 2009, Fox *et al.*, 1994; Rezende *et al.*, 1970).

Comprender y modelar las respuestas que da la torre EC es un reto para predecir efectos (Evrendilek, 2012; Moffat *et al.*, 2010); normalmente las respuestas se implementan en modelos relacionados en parámetros como el *KDD* o el *CRISP-DM*, que tienen un enfoque inductivo al permitir extraer las relaciones directas de los datos. Ambos métodos exploran grandes, fragmentados, con ruido y multidimensionales conjuntos de datos de flujos de carbono medidos por torres EC, para volverlos conocimiento y ser usado con fines científicos, sociales, ecológicos y económicos, entre otros (Roiger, 2017; Evrendilek, 2012; Moffat *et al.*, 2010).

1.5.3 Conocimiento Específico

La adquisición de conocimiento o también llamado conocimiento específico es un paso del sistema de conocimiento profundo que ayuda a explicar el rendimiento del sistema productivo y a predecir los resultados futuros (Buckler, 1996; Capriles, 1998; Neubeck, 2016; Maguad, 2011; Paredes, 2008; Paredes, 2002). El conocimiento se fundamenta en las predicciones de lo que debería suceder en el sistema, al buscar entender las relaciones causa-efecto, dada la existencia entre lo que se sabe y lo que se hace; proceso que ayuda en la toma racional de las decisiones (Maguad, 2011; Neubeck, 2016; Wilde, 2001).

Tiene como fin modificar el estilo de gestión del productor, al transformar efectivamente el sistema hacia el desarrollo o simplemente extender la aplicación del conocimiento a una nueva área, como en este caso, además es indispensable para saber cómo opera el sistema de producción para mejorarlo en su conjunto (Alvarado *et al.*, 2002; Evans, 1996 Peña, 2012). La teoría de conocimiento enfatiza la importancia de salir del sistema para estudiarlo y comprenderlo y de promulgar el nuevo conocimiento, por ello la necesidad de conocer las características del sistema, el proceso productivo y sus interrelaciones (Peña, 2012). Circunstancias en las cuales los modelos permiten encontrar los patrones de comportamiento y por ende las estructuras que los conforman.

La obtención de estructuras a través de la minería de datos, incluye la combinación de información con múltiples criterios con el objeto de extraer patrones de atributos (Foody, 2003); para tal propósito, se adoptan enfoques bayesianos dada su capacidad de detectar y manejar fuentes de incertidumbre (lo que a menudo sucede con los escenarios de cambio climático y variabilidad climática) para analizar relaciones causales mediante máquinas de aprendizaje (Heckerman, 1997; Buang *et al.*, 2006). Este tipo de métodos pueden extraer modelos válidos que describen la dinámica temporal, y permiten predecir diversos aspectos a futuro.

El implementar *CRISP-DM* y *KDD*, es encontrar conocimiento útil, válido, relevante y nuevo sobre una determinada actividad mediante algoritmos, dadas las crecientes órdenes de magnitud en los datos, y el hacer comprensible la información extraída de ellos; abarca la selección por relevancia y atributos a analizar, la supresión de los datos erróneos y la

solución de los problemas de pérdida de información y compatibilidad de las bases de datos. La extracción de la información útil de los datos que se usan es lo que se conoce como la minería de datos, técnica de análisis, reconocimiento y establecimiento, entre otros, de patrones potenciales de asociación entre datos existentes (Witten y Eibe, 2011), para la posterior elaboración de modelos válidos y proyecciones de alta precisión en las temáticas estudiadas utilizando información compleja (Lausch *et al.*, 2014).

Su factor diferenciador radica en el objetivo a implementar, el cual puede ser análisis de series de tiempo, tratamiento de secuencias de datos, determinar patrones y pautas de comportamiento, análisis de secuencias temporales (en tiempo y/o espacio), o análisis y comparación de valores característicos en secuencias de datos; clasificación entre un rango de categorías, donde se incluyen los algoritmos que generan reglas de clasificación para los objetos; agrupamiento de información, donde los algoritmos de conglomerados, agrupan los objetos según la similitud de sus características formando conjuntos o clases; asociación, cuyo objetivo es el de descubrir relaciones ocultas entre los objetos o incluso entre los propios atributos de los objetos, de los cuales se puede extraer reglas; relaciones entre la información, donde se describen dependencias significativas entre variables; predicción, mediante la obtención o entrenamiento de modelos de predicción, con el fin de validar hipótesis de comportamiento preconcebidas; construcción de modelos, que pretende estimar una función o modelo que pueda establecer una relación de dependencia de ciertas variables respecto de otras, con el fin de poder predecir, explicar u optimizar valores a partir de nuevos datos; descripción y compilación de información, la cual tiene como objetivo generar descripciones globales de conjuntos de datos, que en algunos casos pueden ser descripciones de tipo cualitativo; visualización del modelos y datos, consistente en adecuar y reinterpretar los datos para que sean visualmente entendibles y se puedan extraer conclusiones de un vistazo; y análisis exploratorio de datos, similar al agrupamiento en su objetivo y a las técnicas de visualización del modelo en su método, son técnicas que tratan de identificar patrones de forma visual y sin ninguna estructura de búsqueda o semejanza preconcebida.

1.5.4 Conocimiento frente al cambio

El productor en los agroecosistemas ganaderos, es quien integra la información para

aplicarla como conocimiento profundo (Adleman *et al.*, 2017; Malizia *et al.*, 2017; Nosek *et al.*, 2017; Cunningham *et al.*, 2000; Deming, 2000); los conceptos teóricos, la metodología multidisciplinaria y el uso de datos de la estación EC para los indicadores biofísicos, contribuyen al entendimiento de opciones de sustentabilidad ecológica en sistemas agrarios (Cochran *et al.*, 2016). La comprensión ecológica del espacio, con el uso de métodos meteorológicos y estadísticos, bajo el enfoque sistémico, expresan la interrelación entre los paisajes naturales y los factores antrópicos en el marco de los agroecosistemas ganaderos (Roiger 2017; Serrano y Manent, 2016; Mezzanzanica *Et al*, 2015; Wezel *et al*, 2015; Waddington *et al.*, 2014; Eubinet *et al.*, 2012; Peña, 2012; Gargoloff *et al.*, 2011; Wang *et al*, 1996; Deming, 1993).

La aplicación del conocimiento profundo conducirá a la transformación del manejo del sistema, permitiendo tener elementos referenciales para transformar los procesos productivos; cambio de tecnología que se constituye en un modelo productivo, como fundamento al diseño de estrategias de producción. Es un fenómeno fundamental, ya que si no existiese la capacidad de cambio, difícilmente se podrían ajustar las actividades productivas a las permanentes variaciones ecológicas, sociales y económicas (Cáceres *et al.*, 1997).

Se busca con ésto, predisposición al cambio; sin embargo, la transformación productiva tiene el propósito de articular competencia y sustentabilidad a la economía del productor (Cáceres *et al.*, 1997), ya que el reconocer las particularidades de cada modelo productivo, se constituyen en diferencias entre las unidades y por ende de los sistemas, que hace que existan tantos modelos, como productores en el área.

Lovell *et al.* (2010), mencionan que los agricultores son los que toman decisiones acerca de los cambios en el paisaje, son los principales gestores de tierras. De esta manera, se percibe, interpreta y entiende el uso de la tierra, al ser determinante para conocer las aptitudes que presenta el espacio biofísico, y así mismo para comprender los factores que influyen en su uso (Anderson *et al.*, 2017).

Este proceso involucra conceptos subyacentes enfocados en la comprensión ecológica del espacio (Fort *et al.*, 2017; Hoffman *et al.*, 2014; Gliessman, *et al.*, 2007), metodologías multidisciplinarias (Polanco y Ríos , 2015; Álvarez *et al.*, 2014; Gliessman, *et al.*, 2007;

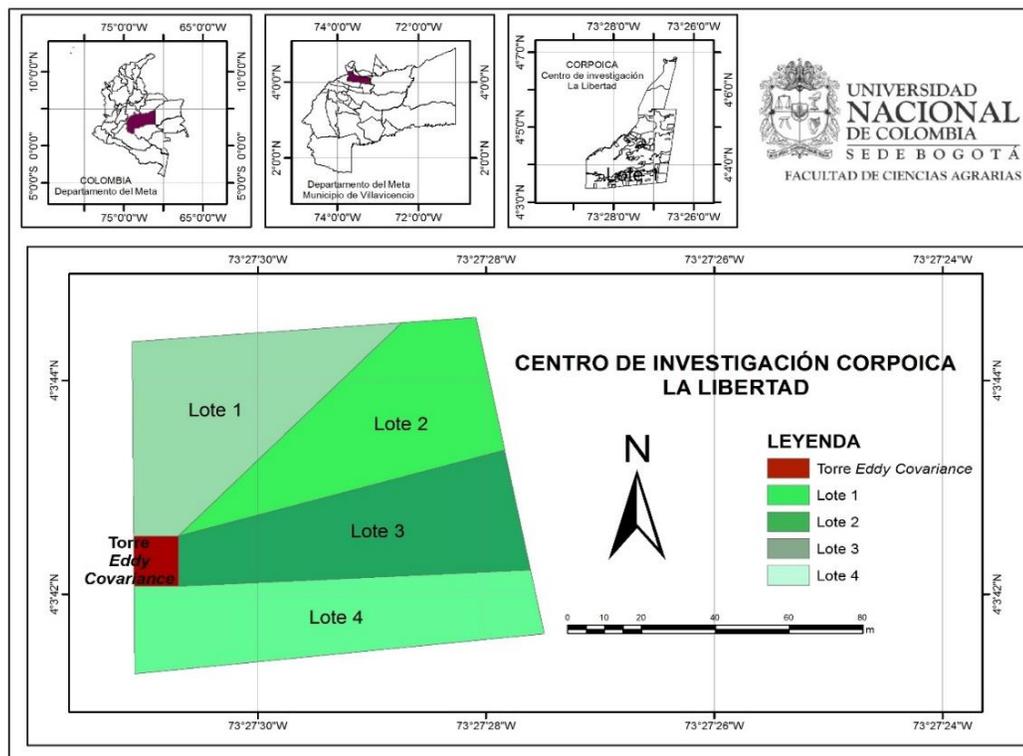
Francis *et al.*, 2003), el uso de técnicas micrometeorológicas, como *Eddy Covariance* (Matthes *et al.*, 2015; Meshalkina *et al.*, 2015; Vásquez *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2014; Baldocchi, 2008), los modelos estadísticos de extracción de conocimiento *KDD* y *CRISP-DM* (Roiger, 2017; Grady, 2016; Kalgotra y Sharda, 2016; Paik, 2016; Kum *et al.*, 2015; Gil y Valencia, 2012; Duque *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2009), la teoría de conocimiento profundo (Adleman *et al.*, 2017; Malizia *et al.*, 2017; Nosek *et al.*, 2017; Acuña, 2016; Lohr, 2015; Paredes, 2007; Deming, 2000) y los factores antrópicos que contribuyen a la comprensión única del marco del sistemas agrario actual (Cochran *et al.*, 2016), que corresponden a un agroecosistema ganadero.

2. Materiales y Métodos.

2.1 Localización

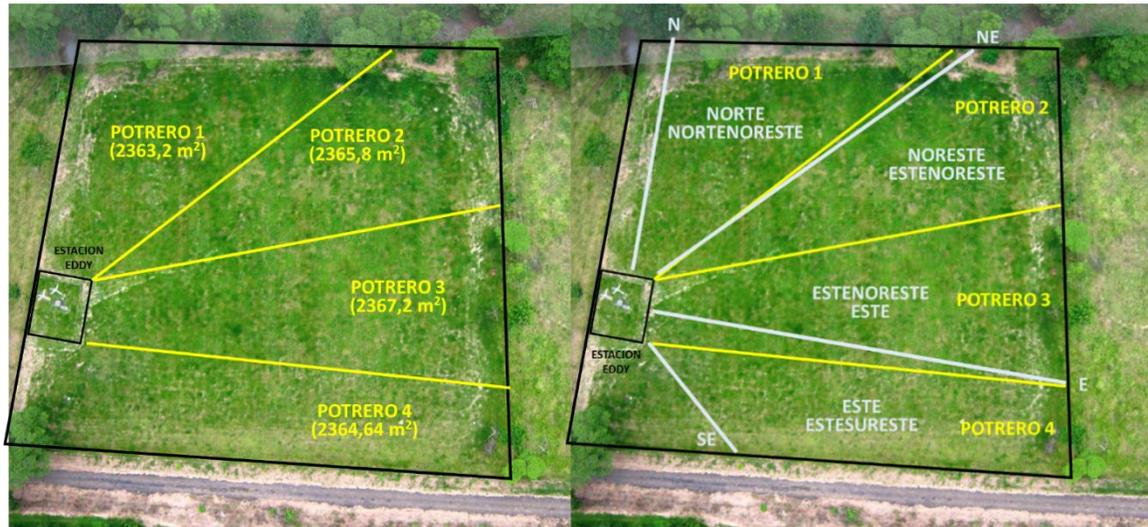
El trabajo se desarrolló por un periodo de tres años, y se analizaron los datos correspondientes a una ventana de 161 días entre los meses de marzo y octubre de 2014, en las instalaciones para bovinos del Centro de Investigaciones C.I. La Libertad de AGROSAVIA, ubicado en el Municipio de Villavicencio, departamento del Meta; centro ecorregional para la Orinoquia colombiana con especialización productiva en sistemas agrícolas, agroforestales y ganaderos, con focalización temática en sistemas sostenibles de producción bovina y agrícola-ganadera como se aprecia en la Figura 2-1.

Figura 2-1. Localización del sitio experimental.



El sistema productivo se caracteriza por encontrarse en un lote de una ha, ubicada en una de terraza media del piedemonte ocupada con *Braquiaria decumbens* y una carga animal entre 1,8 a 2 UGG de la raza San Martinero (*Bos taurus*).

El lote se dividió en cuatro potreros con una rotación cada 7 días, lo que permitió ajustar la información para el análisis del comportamiento del CO₂, al determinar con un mejor nivel de acierto, la dirección de procedencia del viento, que con el lote y la presencia o no de animales, definen el nivel de emisión y flujo de CO₂, como aparece en la figura 2-2.

Figura 2-2. Distribución del sitio experimental.

2.2 Variables.

Se utilizaron dos métodos de captura de información; los registradores de datos y los métodos computarizados. Los requerimientos de los instrumentos de adquisición de datos para la metodología planteada tienen un tiempo de respuesta de 20 Hz (20 datos por segundo).

El proceso de toma de datos se realizó durante un periodo de tres años, de los cuales se seleccionó una ventana para el análisis de 161 días, con la cual se construyeron las bases de datos, que incluyeron 65 variables adicionales, para un total de 187 variables analizadas, con $1,12 \times 10^6$ datos por cada una, y que corresponden a un procesamiento de $4,05 \times 10^{10}$ datos; volumen de información que lo convierte en un análisis del tipo “big data”.

Para integrar la información, fue necesario transformarla en ventanas de 30 minutos; procedimiento estadístico que implicó calcular la mediana por cada segundo $Med(\bar{X}_i \quad i = 1, 2, \dots, 60)$, y para cada ventana, se calculó la media para cada periodo ($\bar{X}_i := \sum_{i=1}^{1800} x_i$), obteniendo así 1 dato cada 30 minutos. Lo anterior es consecuencia de la medición de las variables por el anemómetro sónico, expresadas en sus ejes, y que se transformaron para que éstos abarcaran el ecosistema bajo estudio (Rebmann *et al.*, 2012).

Las variables analizadas en este trabajo son:

Variables capturadas por el sistema Eddy Covariance

- Fecha de medición de la data
- Hora de medición de la data
- Temperatura sónica (°C)
- Presión atmosférica (kpas)
- Concentraciones de CO₂ (ppm)
- Punto de rocío (°C)
- Velocidad del primer componente del viento horizontal (UMS) (m.s⁻¹)
- Velocidad del segundo componente del viento horizontal (VMS) (m.s⁻¹)
- Velocidad del viento vertical (WMS) (m.s⁻¹)

Variables desarrolladas para filtrado y captura

- Cantidad de observaciones registradas durante media hora
- Total de datos registrados que teóricamente deberían haberse registrado
- Total de observaciones que tienen problemas de límites absolutos por temperatura, punto de rocío y velocidad del viento
- Temperatura del aire calculada a partir de la temperatura sónica (°C)
- Densidad del aire seco (kg.m⁻³)
- Densidad del vapor de agua (kg.m⁻³)
- Humedad específica (kg.m⁻³)
- Dirección de la cual proviene el viento (°)
- Velocidad horizontal del viento (m.s⁻¹)
- Dirección predominante de la cual proviene el viento (°)
- Velocidad horizontal predominante del viento (m.s⁻¹)

Variables construidas y desarrolladas para análisis

- Cantidad de observaciones registradas durante media hora
- Total de datos registrados que teóricamente deberían haberse registrado
- Total de observaciones que tienen problema de límites absolutos por temperatura, punto de rocío y velocidad del viento
- Temperatura del aire calculada a partir de la temperatura sónica (°C)
- Densidad del aire seco (kg.m^{-3})
- Densidad del vapor de agua (kg.m^{-3})
- Humedad específica (kg.m^{-3})
- Dirección de la cual proviene el viento (°).
- Velocidad horizontal del viento (m.s^{-1})
- Dirección predominante de la cual proviene el viento (°)
- Velocidad horizontal predominante del viento (m.s^{-1})
- Velocidad del viento según escala de Beaufort

Variables desarrolladas y asociadas con abanderamientos

- Cantidad de observaciones con problema de *Spikes* en cuanto a temperatura, CO_2 , UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones con problema de Resolución de Amplitud en cuanto a temperatura, CO_2 , UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones con problema de *Dropouts* en cuanto a temperatura, CO_2 , UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones con problema de *Higher Moments Statistics* en cuanto a temperatura, CO_2 , UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones con problema de Discontinuidades en cuanto a temperatura, CO_2 , UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones con problema de *Lag Correlation* en cuanto a Temperatura y CO_2
- Cantidad de observaciones con problema de Estacionariedad de nivel 1 en cuanto a temperatura y CO_2

-
- Cantidad de observaciones con problema de Estacionareidad de nivel 2 en cuanto a temperatura y CO₂
 - Cantidad de observaciones con problema de *Higher Moments Statistics* en cuanto a temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
 - Cantidad de observaciones con problema de Discontinuidades en sentido débil en cuanto a temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
 - Cantidad de observaciones con problema de *Lag Correlation* en sentido débil en cuanto a temperatura y CO₂

Variables desarrolladas para evaluación de control de calidad

- Cantidad de observaciones con problema de Estacionareidad de nivel 1 en cuanto a temperatura y CO₂
- Cantidad de observaciones con problema de Estacionareidad de nivel 2 en cuanto a temperatura y CO₂
- Estadístico para la prueba de característica de turbulencia integral
- Conclusión de la prueba de turbulencia, clasificando los datos en nivel 0, 1 o 2
- Conclusión de la prueba de estado estacionario en cuanto a temperatura, CO₂, clasificando los datos en nivel 0, 1 o 2
- Conclusión de la calidad global de los datos para la media en cuanto a temperatura y CO₂, clasificando los datos en nivel 0, 1 o 2

Variables desarrolladas para el análisis de flujos

- Cantidad de datos presentes en el intervalo que fueron utilizados para calcular los flujos.
- Cantidad de segundos disponibles asociados a los flujos
- Promedio de UMS, VMS y WMS después de realizar las rotaciones 2D en los sistemas coordenados (m.s⁻¹)
- Covarianza entre CO₂ y UMS, CO₂ y VMS, CO₂ y WMS, resultante de las rotaciones 2D en los sistemas coordenados (m⁻².s⁻²)

- Covarianza entre Temperatura y WMS resultante de la corrección de viento lateral ($m^{-2}.s^{-2}$)
- Flujo de CO_2 ($kgs.m^{-2}.s^{-1}$)
- Flujo de calor latente ($w.m^{-2}$)
- Flujo de calor sensible ($w.m^{-2}$)
- Promedio de la densidad del aire seco ($kgs.m^{-3}$)
- Promedio de la densidad de CO_2 ($kgs.m^{-3}$)
- Incertidumbre de los flujos de CO_2 según Lenschow y Mann y Lenschow ($kgs.m^{-2}.s^{-1}$)
- Velocidad de fricción ($m.s^{-1}$)
- Longitud de Obukhov (m)
- Desviación estándar de WMS ($m.s^{-1}$)
- *Footprint* calculado según el modelo de Hsieh para 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y f_{max} (m)
- *Footprint* calculado según el modelo de para 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y f_{max} (m)
- Estadístico para la Prueba de característica de turbulencia integral
- Flujo de almacenamiento estimado de CO_2 ($kgs.m^{-2}.s^{-1}$)
- Incertidumbre del flujo de CO_2 como desviación estándar por el método de Hollinger y Richardson, y Richardson et al. ($kgs.m^{-2}.s^{-1}$)
- Necesidad de *gap filling* según los resultados del *Quality Control Assesment* en la base de datos corregida (Variable Dummy)

Variables desarrolladas para análisis de control de calidad

- Cantidad de datos registrados que teóricamente deberían haberse registrado
- Cantidad de observaciones registradas durante la media hora
- Cantidad de observaciones que tienen problema de límites absolutos por temperatura, punto de rocío y velocidad del viento
- Cantidad de observaciones restantes una vez se remueven las observaciones marcadas por los criterios de límites absolutos
- Cantidad de observaciones catalogadas con abanderamiento de algún tipo de acuerdo con los criterios *Spikes*, Resolución de amplitud, *Dropouts*, *Higher Moment*

Statistics (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS

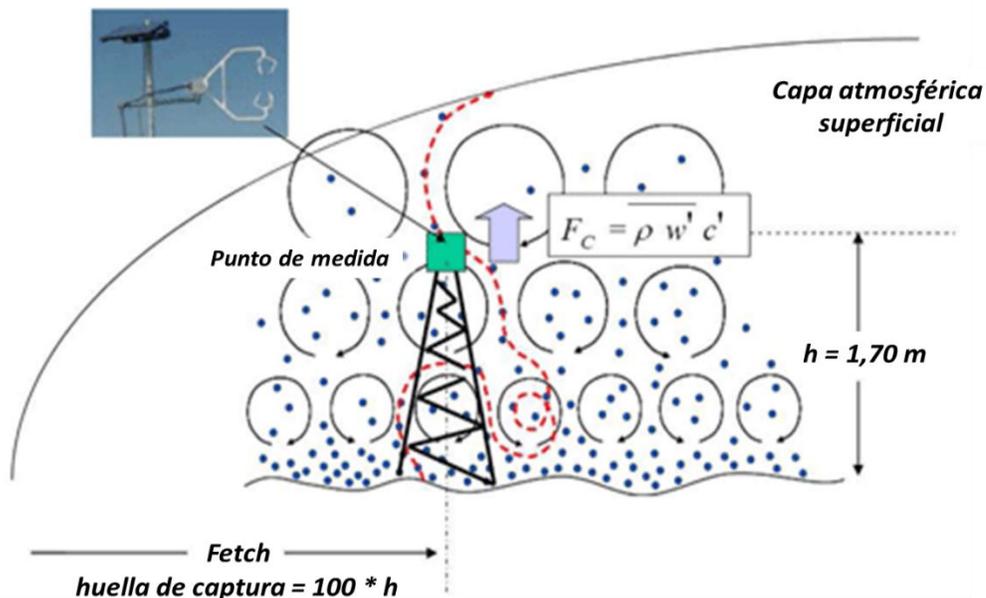
- Cantidad de observaciones catalogadas con abanderamiento de algún tipo para las observaciones de temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS de acuerdo con los criterios *Spikes*, *Resolución de amplitud*, *Dropouts*, *Higher Moment Statistics* (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), y detallado para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
- Promedio por media hora para las medianas por segundo de las observaciones de temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS marcadas con abanderamiento de algún tipo, de acuerdo con los criterios *Spikes*, *Resolución de amplitud*, *Dropouts*, *Higher Moment Statistics* (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), y detallado para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones sin abanderamiento de algún tipo de acuerdo con los criterios *Spikes*, *Resolución de amplitud*, *Dropouts*, *Higher Moment Statistics* (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), y detallado para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
- Cantidad de observaciones sin abanderamiento de algún tipo para las observaciones de temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS de acuerdo con los criterios *Spikes*, *Resolución de amplitud*, *Dropouts*, *Higher Moment Statistics* (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), y detallado para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS
- Promedio por media hora para las medianas por segundo de las observaciones de temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS sin abanderamiento de algún tipo, de acuerdo con los criterios *Spikes*, *Resolución de amplitud*, *Dropouts*, *Higher Moment Statistics* (versión *hard* y *soft*), *Discontinuidades* (versión *hard* y *soft*), *Lag correlation* (versión *hard* y *soft*) y *estacionareidad* (versión *hard* y *soft*), y detallado para las variables temperatura, CO₂, UMS, VMS y WMS

2.3 Torre de flujos *Eddy Covariance*.

Diseño de la Torre y Requerimientos.

La instalación de la torre de flujos tuvo en cuenta los requerimientos consignados por Burba y Anderson (2010); el principio del método “*Eddy Covariance*” (Figura 2-3) mide las fluctuaciones de velocidad vertical (w') y de concentración de CO_2 (c') inducidas por remolinos turbulentos, y se calcula la covarianza cruzada $\rho'c'w'$, que es igual al flujo de CO_2 (Burba y Anderson 2010); la medida debe llevarse a cabo dentro de la capa límite superficial, en una zona suficientemente alejada del borde de ataque. Si h es la altura de las medidas, se debe respetar un valor de huella de captura del orden de 50 a 100 veces el valor de h .

Figura 2-3. Principio de instalación de la torre “*Eddy Covariance*”.



Fuente: Adaptado de Burba y Anderson (2010)

La torre EC instalada en el C.I. La Libertad, consta de 1 anemómetro sónico (CSAT-3, Campbell Scientific) que mide la velocidad de viento en 3 direcciones; 1 analizador de gases infrarrojo del tipo *Open Path* (LI-7500A, LI-COR) que mide las fluctuaciones de la densidad de CO_2 y de vapor de agua; 1 sensor de radiación solar neta (NR Lite2

KIPP&ZONEN); 1 sensor de flujo de calor en el suelo (HFP01, Hukseflux) y 3 sensores de CO₂ (GMP222, Vaisala) a 5 cm, 10 cm y 25 cm de profundidad en el suelo con 3 geotermómetros (Texas Instruments) a las mismas profundidades. Las medias, varianzas y covarianzas entre estas variables se establecieron para una ventana de 30 min, que fueron almacenados en un sistema de adquisición de datos (LI-7550, LiCor) para el posterior cálculo de los flujos de CO₂ y vapor de agua. El anemómetro y el analizador toman datos con una frecuencia de 20 Hz (20 datos por segundo).

Adicionalmente, se instaló una estación climática DAVIS Advantage Pro-2 (DAVIS), que almacena los datos meteorológicos con una periodicidad de 30 min, y un sensor de humedad de suelo a 3 profundidades, Enviroscan (Sentek).

Para evaluar la instalación de la torre (altura), por estar la pastura siempre en rotación activa, se aplicaron los criterios de Monteith y Unsworth (2008) y Dyer y Hicks (1970); Hicks (1976); Lemon (1960); Monin y Obukhov (1954).

Criterio 1 (Monteith y Unsworth, 2008):

$$hm > [d + 4(hc - d)]$$

$$hc \leq 1,75 m$$

donde:

hm = altura de medida

hc = altura promedio de la pastura

d = altura de desplazamiento en el plano cero

Criterio 2 (Dyer y Hicks, 1970; Hicks, 1976; Lemon, 1960; Monin y Obukhov, 1954):

$$hm \approx d + 5(hc - d)$$

donde:

hm = altura de medida

hc = altura promedio de la pastura

d = altura de desplazamiento en el plano cero

“Fetch” y “footprint”.

Para el cálculo del “fetch” y el “footprint”, se implementaron los métodos de Hsieh *et al.* (2000) y Kljun *et al.* (2000).

“Footprint” siguiendo el método de Hsieh *et al.* (2000). El “footprint” se define como la distancia que influye las mediciones con una torre de flujo. El programa calcula las distancias al máximo del “footprint” y la distancia para incrementos del 10% hasta el 99% del “footprint” integrado.

El modelo propuesto por Hsieh *et al.* (2000) calcular la distancia x_f de la torre al punto, donde el footprint integrado alcanza la fracción f de su área total, mediante la siguiente expresión:

$$x_f = \frac{-D |L|^{1-P} z_u^P}{k^2 \ln(f)}$$

Con $z_u = z_m \left(\ln \left(\frac{z_m}{z_0} \right) - 1 + \frac{z_0}{z_m} \right)$, donde $z_0 = 0.1 \cdot z_c$ es la longitud de rugosidad y $z_c = 0.6$ la altura de canopeo. $L = -\frac{u_*^3}{k \cdot \frac{g}{T} \cdot w'T}$ es la longitud de Obukhov, $k = 0.4$ es la constante de von Kármán y $u_* = \left[(\overline{u'w})^2 + (\overline{v'w})^2 \right]^{\frac{1}{4}}$. Por último, los parámetros P y D dependen de las condiciones de estabilidad, a saber:

$$\{D, P\} \begin{cases} \{0.28, 0.59\} \text{ si } \frac{z_u}{L} < -0.04, & \text{inestables.} \\ \{0.97, 1\} \text{ si } -0.04 < \frac{z_u}{L} < 0.04, & \text{neutrales.} \\ \{2.44, 1.33\} \text{ si } 0.04 < \frac{z_u}{L}, & \text{estables.} \end{cases}$$

Por último, la distancia al punto del “footprint” máximo es

$$x_{max} = \frac{D |L|^{1-P} z_u^P}{2 \cdot k^2}$$

“Footprint” siguiendo el método de Kljun et al. (2000). Este modelo calcula la distancia x_f y x_{max} con

$$x_f = X_f^* \left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)^{-\alpha}$$

Y

$$x_{max} = X_{max}^* \left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)^{-\alpha}$$

Donde σ_w es la desviación estándar de la velocidad vertical, $\alpha = 0.8$, $X_{max}^* = 2.59 * (3.42 - \log(z_0))$ y $X_f^* = f * X_{max}^*$.

Estimación de la incertidumbre de los flujos y “footprint”. La incertidumbre de los flujos y el “footprint” proporcionan información relevante para conocer la precisión de la estimación de los mismos y el alcance total que estos tienen. A continuación, se presentan los métodos implementados para su cálculo.

Incertidumbre según Lenschow (1994) y Mann y Lenschow (1994). Los autores allí mencionados proponen calcular el error aleatorio como:

$$\frac{\sigma_F}{|F|} = \left(\frac{2\tau}{T_p} \right)^{0.5} \left(\frac{1 + r_{wx}^2}{r_{wx}^2} \right)^{0.5}$$

Donde r_{wx} es el coeficiente de correlación entre la velocidad vertical del viento (w) y una variable x (CO_2) $r_{wx} = \frac{\overline{w'x}}{\sigma_w \sigma_x}$, T_p es el período de medición (1800 si la media hora está completa), $|F| = |F_{CO_2}|$ es el flujo absoluto y $\tau \approx \frac{z_m}{u_{hor}}$ es un período que se deja expresar como el cociente de la altura de la medición ($z_m = 1.7$) y de la velocidad horizontal del viento durante la media hora ($u_{hor} = \overline{u_m}$).

Incertidumbre según Hollinger y Richardson (2005) y Richardson et al. (2007). Este método consiste en tomar dos días. Dentro de estos se buscan pares de mediciones, las cuales son tenidas en cuenta si se realizan a la misma hora del día y cuentan con condiciones similares:

Diferencia de temperaturas menos a 3 °C.

Diferencia en velocidad vertical del viento no supera 1 ms^{-1}

Con las medidas tenidas en cuenta, es posible calcular el error aleatorio como:

$$\sigma_r = \frac{\sigma(F_2 - F_1)}{\sqrt{2}}$$

Donde $\sigma(F_2 - F_1)$ es el error estándar de las diferencias entre los flujos 1 y 2.

Prueba de características de turbulencia integral. Esta prueba mide la calidad de la base de datos en términos del “*footprint*” estimado y fue propuesta por Foken *et al.* (2004), el proceso realizado fue el siguiente:

Se construyó el modelo $\frac{\sigma_w}{u_*} = c_1 \left(\frac{z}{L}\right)^{c_2}$, en donde el valor de los parámetros c_1, c_2 se reemplazó por sus respectivos valores siguiendo la relación presentada a continuación:

$$\{c_1, c_2\} \begin{cases} \{1.3, 2\} & \text{si } -0.032 \leq \frac{z_u}{L} \leq 0.032 \\ \left\{0, \frac{1}{8}\right\} & \text{si } \frac{z_u}{L} < -0.032 \text{ o } \frac{z_u}{L} > 0.032. \end{cases}$$

Posteriormente, se construyó el siguiente estadístico:

$$ITC_\sigma = \left| \frac{\left(\frac{\sigma_w}{u_*}\right)_{model} - \left(\frac{\sigma_w}{u_*}\right)_{measurement}}{\left(\frac{\sigma_w}{u_*}\right)_{model}} \right|$$

Si el estadístico $ITC_\sigma < 0.3$, se asume que la turbulencia es bien comportada, mientras que si $0.3 < ITC_\sigma < 1$, la turbulencia es aceptable para ejercicios de largo plazo (i.e cálculo de flujos cada 30 min o más).

Cálculo de Variables.

Temperatura. Esta primera variable es la que juega el papel más importante para la estimación de los flujos, la cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{T_{sonic}}{1 + 0.51 \frac{1}{\left(\frac{p}{\rho_v T} - R_v\right) \frac{1}{R_d} + 1}}$$

La cual podemos expresar de manera cuadrática

$$0 = a T^2 + bT + c$$

donde:

$$a = \left(1 - \frac{R_v}{R_d} + 0.51\right)$$

$$b = \left(\frac{p}{\rho_v R_d} + \frac{R_v}{R_d} T_{sonic} - T_{sonic}\right)$$

$$c = -\frac{p}{\rho_v R_d}$$

$R_d = 287.05 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ constante de gas para aire seco

$R_v = 461.525 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ constante de gas para vapor de agua

$\rho_v = H2OPPM * 0.000001$ Densidad del vapor de agua en kg m^{-3}

$p = PRESKPA * 1000$ Presión del aire en Pa

$T =$ Temperatura del aire en K

Nótese que para ρ_v y p se utiliza la data de la base de datos representada por las variables allí mencionadas. Continuando con la solución, solo la raíz negativa tiene sentido, por lo tanto:

$$T = -\frac{b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{c}{a}} \text{ en K.}$$

Humedad específica y densidad del aire seco. Posteriormente, se calcula la humedad específica (q) y la densidad del aire seco (ρ_d) usando la expresión despejada de su relación con T

$$T = \frac{T_{sonic}}{1 + 0.51q}$$

$$q = \frac{1}{0.51} \left(\frac{T_{sonic}}{T} - 1 \right)$$

Para la segunda se recurre a la siguiente expresión:

$$\rho_d = \frac{p_0}{R_d * T} \exp \left(- \frac{gh}{R_d T} \right)$$

ρ_d = Densidad del aire seco en kg m^{-3}

p_0 = 101325 es la presión estándar al nivel del mar en Pa

g = 9.81 es la aceleración gravitacional (m s^{-2})

h = 467 es la altura sobre el nivel del mar en m, utilizando la correspondiente a C.I. La Libertad.

Cálculo de Covarianza Corregida de CO₂ con variables de viento. Una vez se tienen las anteriores variables, se procedió a calcular las covarianzas entre las concentraciones de CO₂ con la velocidad vertical del viento (WMS). Para ello, se utiliza la metodología “*2-D coordinate rotation*”, la cual consiste en realizar dos rotaciones, de manera que el componente a la $\overline{v_m^1}$ sea 0. La razón de utilizar estas rotaciones se debe a que puede haber leves inclinaciones del anemómetro que influyen en las velocidades horizontales provenientes del componente vertical. Por otra parte, se prefiere esta metodología en lugar de la “*Planar Fit*”, debido a que la segunda requiere cargar toda la base de datos (estima parámetros globales), lo cual no es posible dado el tamaño de la base anaizada. Adicionalmente, la ventaja de realizar correcciones locales con la metodología “*2-D coordinate rotation*” es que los parámetros calculados en las rotaciones (θ, ϕ) son más representativos de la media hora en cuestión.

En primer lugar, se definen las siguientes ecuaciones:

$$u_1 = u_m \cos\theta + v_m \sin\theta$$

$$v_1 = -u_m \sin\theta + v_m \cos\theta$$

¹ Nótese que para una variable cualquiera b , la convención $\bar{b} = \sum_{g=1}^G b_g$ denota el promedio simple sobre sus G elementos disponibles.

$$w_1 = w_m$$

Donde $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{v_m}}{\overline{u_m}} \right)$, u_m, v_m, w_m son los vectores de las velocidades del viento (UMS, VMS y WMS en base de datos) medidas en Hz para la media hora a estimar.

Posteriormente, se procede a hacer la segunda rotación, la cual consiste en dejar el componente de $\overline{w_m}$ en 0. Las ecuaciones utilizadas son:

$$u_2 = u_1 \cos \varphi + w_1 \sin \varphi$$

$$v_2 = v_1$$

$$w_2 = -u_1 \sin \varphi + w_1 \cos \varphi$$

Donde $\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{w_1}}{\overline{u_1}} \right)$. Estas dos rotaciones pueden ser representadas como el producto de una matriz A con el vector de viento medido, a saber:

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & \sin \theta \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ -\cos \theta \sin \varphi & -\sin \theta \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ v_m \\ w_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} u_m \\ v_m \\ w_m \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, es posible calcular $\overline{u_2}, \overline{v_2}, \overline{w_2}$ como $A \begin{bmatrix} \overline{u_m} \\ \overline{v_m} \\ \overline{w_m} \end{bmatrix}$, y como medida de verificación

debe cumplirse que $\overline{v_2}, \overline{w_2} = 0$. De igual manera, es posible calcular la covarianza de la variable $X = CO_2$ con cada una de las velocidades del viento como

$$\begin{bmatrix} Cov(X, u_2) \\ Cov(X, v_2) \\ Cov(X, w_2) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \overline{u'_m X'} \\ \overline{v'_m X'} \\ \overline{w'_m X'} \end{bmatrix}, \text{ donde } X' = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}', u'_m = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}', v'_m = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}'$$

y $w'_m = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}'$, $\forall i = 1, \dots, n$ denotan los vectores transpuestos en la media hora

observada de la variable de interés (x), velocidades horizontales del viento (u_m, v_m) y velocidad vertical del viento (w_m), respectivamente.

Se calcula una medida de covarianza para cada media hora, este cálculo se repite de manera iterativa hasta recorrer toda la muestra.

Covarianza de temperatura con viento vertical. Para encontrar la covarianza de la temperatura con la velocidad del viento vertical, se debe aplicar una corrección asociada a la temperatura del aire, la cual difiere de la sónica. Es posible expresar la covarianza entre T y W corregida de la siguiente manera (según Liu y Foken *et al.*, (2001)):

$$Cov(w, T) = \overline{w'T_{sonic}'} - 0.51 \bar{T} \overline{w'q'} + \frac{2\bar{T}}{c^2} \left(\bar{u} \cdot \overline{u'w'} \cdot A + \bar{v} \cdot \overline{v'w'} \cdot B \right)$$

Donde $c = \frac{c_p}{c_v} R_d T_{sonic} = 403 \frac{T_{sonic}}{K} \left[\frac{m}{s} \right]$ es la velocidad sónica en s^{-1} , $c_p = 1004.67 J kg^{-1} K^{-1}$ es el calor específico del aire a presión constante, $c_v = 718 J kg^{-1} K^{-1}$ es el calor específico del aire a volumen constante. Es de notar que para el anemómetro CSAT-3, esta corrección viene incorporada por lo que $A = B = 0$. Por lo tanto:

$$Cov(w, T) = \overline{w'T_{sonic}'} - 0.51 \bar{T} \overline{w'q'}$$

Se calcula una medida de covarianza para cada media hora, por lo que este cálculo se repite de manera iterativa hasta recorrer toda la muestra.

2.4 Control de Calidad.

La prueba de Estacionareidad en el viento vertical. Busca datos con problemas de no estacionareidad; cuando una serie no es estacionaria, su distribución es degenerada y sus propiedades estadísticas no se encuentran bien definidas.

Se realiza una verificación calculando la covarianza entre la velocidad vertical del viento (w) y la variable de interés (x) para M=5 subintervalos, $\sigma_{x,w}^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (x_i - \mu_x)(w_i - \mu_w)}{n} \forall j = 1, \dots, 5$, y con n_j el número de datos disponibles en la subventana j, para una ventana de 30 minutos. Posteriormente, se calcula el promedio de

estas covarianzas $\left(\mu_{\sigma_{x,w}} = \frac{\sum_{j=1}^M \sigma_{x,w}^{(j)}}{M} \right)$, y se calcula la covarianza de la ventana $\sigma_{x,w} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1+n_2+\dots+n_M} (x_i - \mu_x)(w_i - \mu_w)}{n_1+n_2+\dots+n_M}$. Lo anterior permite construir el siguiente criterio:

$$\left| \frac{\sigma_{var,w} - \mu_{\sigma_{var,w}}}{\mu_{\sigma_{var,w}}} \right| * 100 \geq T$$

Si alguna de las medidas supera en valor absoluto al valor de $T = 0,3$, la ventana correspondiente es marcada con problema (*hard flag*, categoría 2).

Se calcula la prueba para cada rango de tiempo y se realiza la caracterización de la ventana siguiendo a Foken *et al.*, (2004):

Estacionareidad	QC – Flag
<30%	0
<100%	1
>100%	2

Las clases son las siguientes:

- **0:** Datos de calidad más alta.
- **1:** Datos de calidad media, los cuales pueden usarse para estudios en frecuencias más bajas.
- **2:** Datos de calidad baja, es necesario hacer *Gap Filling*.

La Prueba de características de turbulencia integral. Mide la calidad de la base de datos en términos del *footprint* estimado y fue propuesto por Foken *et al.*, (2004); el proceso realizado es el siguiente:

Se construye el modelo $\frac{\sigma_w}{u_*} = c_1 \left(\frac{z_u}{L} \right)^{c_2}$, en donde el valor de los parámetros c_1, c_2 se reemplazan por sus respectivos valores siguiendo la relación presentada a continuación:

$$\{c_1, c_2\} \begin{cases} \{1.3, 2\} & \text{si } -0.032 \leq \frac{z_u}{L} \leq 0.032 \\ \{0, \frac{1}{8}\} & \text{si } \frac{z_u}{L} < -0.032 \text{ o } \frac{z_u}{L} > 0.032. \end{cases}$$

Con $z_u = z_m \left(\ln \left(\frac{z_m}{z_0} \right) - 1 + \frac{z_0}{z_m} \right)$, donde $z_m = 1.7$ es la altura del anemómetro en metros, $z_0 = 0.1 \cdot z_c$ es la longitud de rugosidad (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2012), manual del Eddy) con $z_c = 0.6$ la altura de canopy. $L = -\frac{u_*^3}{k \cdot \frac{g}{T} \cdot w'T}$ es la longitud de Obukhov, $k = 0.4$ es la constante de von Kármán y $u_* =$

$\left[(\overline{u'w})^2 + (\overline{v'w})^2 \right]^{\frac{1}{4}}$, y $\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}$ es la desviación estándar de la velocidad vertical del viento para la media hora, y $\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i$ es la velocidad vertical promedio durante la media hora.

Posteriormente, se construye el siguiente estadístico:

$$ITC_\sigma = \left| \frac{\left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)_{model} - \left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)_{measurement}}{\left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)_{model}} \right|$$

Si el estadístico $ITC_\sigma < 0.3$, se asume que la turbulencia es bien comportada, mientras que si $0.3 < ITC_\sigma < 1$, la turbulencia es aceptable para ejercicios de largo plazo (i.e cálculo de flujos cada 30 min o más). En conjunto, se calculan ambas pruebas para cada rango de tiempo y se realiza la caracterización de la ventana siguiendo a Foken *et al.*, (2004):

Turbulencia	QC – Flag
<30%	0
<100%	1
>100%	2

Las clases son las siguientes:

- **0:** Datos de calidad más alta.
- **1:** Datos de calidad media, los cuales pueden usarse para estudios en frecuencias más bajas.
- **2:** Datos de calidad baja, es necesario hacer *Gap Filling*.
-

Revisión de Límites Absolutos. Se eliminan los datos asociados a temperatura, punto de rocío y velocidad, que se encuentren por fuera de los límites “plausibles”, determinados por el usuario.

En este caso, se eliminaron los datos utilizando los siguientes criterios:

Temperatura: Datos por fuera del intervalo [19,1 a 35,7]

Punto de Rocío: Datos por fuera del Intervalo [15,9 a 26,5].

Velocidad Horizontal: Esta es calculada como $Speed_t = \sqrt{U^2 + V^2}$, excluyendo los datos por fuera del Intervalo [0 a17].

Análisis de Abanderamientos. De acuerdo a lo introducido por Vickers y Mahrt (1997), los registros marcados con *hard flag* son usados para identificar errores causados posiblemente por los instrumentos de medición, mientras que los *soft flag*, son empleados para identificar comportamientos estadísticamente anormales, pero que aparentemente son causados por el ambiente. Sin embargo, Oh *et al.* (2011) afirman que las observaciones marcadas como *hard flag* son errores y las marcadas como *soft flag* son posibles errores.

Revisión de Spikes. Se buscan datos atípicos en la información, los cuales por lo general distorsionan las diversas medidas estadísticas que puedan obtenerse con ellos.

Se realiza la siguiente validación: Para un criterio de TH=3.5 (Vickers & Mahrt (1997)), con una ventana de 5 min (h=6000) que se corre por dato, se construye la siguiente medida:

$|\mu \pm TH * \sigma|$, donde $\mu = \frac{\sum_{i=1}^h x_i}{h}$ es la media asociada a la ventana para la variable x, y

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^h (x_i - \mu)^2}{h-1}}$, es su desviación estándar. Dado lo anterior, aquellos datos que en valor absoluto sean mayores a esta medida serán clasificados como atípicos (*hard flag*). Es decir, se marcan como *Spikes* aquellos datos $d_i \forall i = h, \dots, n$, donde n es el total de datos por archivo que cumplan con la siguiente condición:

$$|d_i| \geq |\mu \pm TH * \sigma|$$

Revisión de Resolución de Amplitud. Corresponde a datos con problemas en la resolución de amplitud, los cuales por lo general tienen como consecuencia que no se capture correctamente la variabilidad de las series.

Se realiza la validación, tomando un criterio de $TH=0.7$, con una ventana de $h=1000$ datos que se corre por media ventana (500), se construye una tabla de frecuencias absolutas para datos agrupados en $b=100$ intervalos (*bins*).

Dado lo anterior, si la proporción de *bins* vacíos es mayor o igual a TH , todos los datos en la ventana serán marcados con problema de resolución de amplitud (*hard flag*). Es decir, se marcan como con problemas de resolución aquellas ventanas $V_j \forall j = 1, \dots, l$, donde l es el total de ventanas posibles por archivo que cumplan con la siguiente condición:

$$Total\ Bins\ Vacíos_j \geq TH$$

Revisión de Dropouts. Se buscan datos problemas de dropout de manera paralela al caso de resolución de amplitud, los cuales por lo general se asocian a problemas de grabado o de respuesta en el instrumento, lo que causa que la información se quede “pegada” en cierto valor.

Se realiza la siguiente validación: tomando un criterio de $TH_{tail} = 0.06$ y $TH_{med} = 0.1$ (Vickers & Mahrt (1997)), con una ventana de $h=1000$ datos que se corre por media ventana (500), se construye una tabla de frecuencias absolutas para datos agrupados en $b=100$ intervalos (*bins*). Se comparan los datos con el inmediatamente anterior, verificando

si estos son iguales o no. Esto da un tentativo de *dropout* por dato $d_i \forall i = 1, \dots, h$. Se realiza esta operación para todo el registro y posteriormente, se identifican los cuartiles asociados al 10%, 50% y 90% (Q_{10}, Q_{50}, Q_{90}) de los datos marcados como *dropout* tentativos, de los cuales se hace el marcado definitivo a partir de los siguientes criterios:

$$\frac{(Tentativos > Q_{90} + Tentativos < Q_{10})}{n} \geq TH_{tail}$$

$$\frac{Tentativos iguales a Q_{50}}{n} \geq TH_{med}$$

Si los datos cumplen con alguno de los dos criterios, se procede a marcar como definitivo (*hard flag*) el problema para todos los datos tentativos identificados.

Revisión de *Higher Moment Statistics*.

$$\left(S = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{n}}{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1} \right]^{3/2}} \right) \text{ y curtosis } \left(K = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{n}}{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1} \right]^2} \right),$$

Se buscan datos problemas y de asimetría los cuales están típicamente asociados a problemas en la distribución (no es normal o no converge a una de manera asintótica).

Se realiza la validación con todo el registro (12 horas aproximadamente), calculando la asimetría y curtosis de la serie de datos removiendo su tendencia lineal, si estas se encuentran por fuera de los intervalos $[-2,2]$ y $[1,8]$ (Vickers & Marht (1997)), respectivamente, se marca todo el registro con problema (*hard flag*).

Revisión de Discontinuidades. Se buscan datos problema asociados con discontinuidades realizando la transformación de Haar. Cuando existen discontinuidades (o quiebres estructurales), las propiedades de la serie pueden verse afectadas y por lo tanto existir problemas.

Se realiza la transformación de Haar tomando una ventana de $h=1000$ datos que se corre por media ventana (500), se calcula la media ($\mu_{ventana} = \frac{\sum_{i=1}^h x_i}{h}$) y desviación estándar

($\sigma_{ventana} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^h (x_i - \mu_{ventana})^2}{h-1}}$) de cada caso. Posteriormente, se calcula la media

de toda la serie ($\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$) y su rango ($Range = \max\{x_1, \dots, x_n\} - \min\{x_1, \dots, x_n\}$).

Finalmente, se obtiene $\sigma = \min\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_l\}$, donde σ_i corresponde a $\sigma_{ventana}$ asociada a la i ésima ventana $\forall i = 1, 2, \dots, l$. Esto permite calcular el siguiente criterio:

$$\left| \frac{\mu_{ventana} - \mu}{\sigma + 0.25 * Range} \right| \geq TH$$

$$\left| -\frac{\mu_{ventana} - \mu}{\sigma + 0.25 * Range} \right| \geq TH$$

Si alguna de las medidas supera en valor absoluto al valor de $TH = 3$, la ventana correspondiente es marcada con problema (*hard flag*). El reconocimiento de estos datos para *soft flags* toma $TH=2$.

Revisión de Lag Correlation. Se detectan problemas de correlación rezagada. Este problema se asocia a que el procesamiento de la máquina puede tardar más que el tiempo empleado en la captura de información, usualmente debido a que los dispositivos se encuentran alejados.

El programa toma un total de 2s ($h = Hz * 2 = 40$), y se encuentra el valor de correlación para todo el registro entre la variable de interés rezagada (x_{i-j}) y la velocidad vertical

del viento (w), $\rho_j = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i-j} - \mu_x)(w_i - \mu_w)}{n \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i-j} - \mu_x)^2}{n-1}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \mu_w)^2}{n-1}}}$ $\forall j = 0, 1, \dots, h$. Entre estas

correlaciones, se calcula $\rho_{max} = \max\{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_h\}$. Posteriormente, se estima la

correlación contemporánea (sin rezagar) entre las variables ρ_0 , con lo cual es posible hallar el siguiente criterio:

$$\left| \frac{\rho_{max} - \rho_0}{\rho_0} \right| \geq TH$$

Si el valor absoluto de la razón supera el valor de $TH=0.2$, los datos de todo el registro se marcan con problema (*hard flag*).

El reconocimiento de estos datos para *soft flags* toma $TH=0.1$.

2.5 Cálculo de Flujos.

Cálculo de Flujos de CO₂. Siguiendo la metodología de Webb, Pearman y Leuning (1980), conocida como WPL, es posible expresar la fórmula de cada uno de los flujos como se presenta a continuación.

Para los flujos de CO₂ en $kg\ m^{-2}s^{-1}$, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_{CO_2} = \overline{w' \rho_{CO_2}'} + \mu \cdot \frac{\overline{w' \rho_v'}}{\overline{\rho_d}} \cdot \overline{\rho_{CO_2}} + (1 + \mu \cdot \sigma) \cdot \frac{\overline{w' T'}}{\overline{T}} \cdot \overline{\rho_{CO_2}}$$

Mientras que para vapor de agua ($\rho_x = \rho_v$) la expresión es

$$F_v = (1 + \mu \cdot \sigma) \cdot \left(\overline{w' \rho_v'} + \overline{\rho_v} \frac{\overline{w' T'}}{\overline{T}} \right)$$

Donde

$$\mu = \frac{m_d}{m_v} = 1.6077$$

$\sigma = \frac{\rho_v}{\rho_d}$ es el cociente de las densidades de vapor de agua y aire seco en $kg\ m^{-3}$

$m_d = 28.9645 \cdot 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$ es la masa molecular de aire seco.

$m_v = 18.015 \cdot 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$ es la masa molecular de vapor de agua.

$\rho_{CO_2} = CO_2PPM * 0.000001\ kg\ m^{-3}$.

Por último, es posible calcular el calor latente como

$$\lambda E = \lambda F_v$$

Donde $\lambda = 1500827 - 2360 \cdot (T - 273.15)$ en Jkg^{-1} es el calor latente de vaporización para agua.

Flujo de calor sensible. El flujo de calor sensible H se calcula como

$$H = c_p \rho \overline{w'T'}$$

Donde $\rho = \rho_d + \rho_v$ es la densidad del aire, $c_p = c_{p \text{ aire seco}} (1 + 0.84q)$, con $c_{p \text{ aire seco}} = 1004.67 J kg^{-1}K^{-1}$ y $q = \frac{1}{0.51} \left(\frac{T_{sonic}}{T} - 1 \right)$ la humedad específica.

Flujo de Almacenamiento (Storage Flux). Se define el flujo de almacenamiento como aquel que “toma en cuenta que en condiciones calmas con poca turbulencia el flujo no es medido por los instrumentos de la “*Eddy Covarianza*”, sino que este flujo causa un cambio de la concentración de CO_2 entre el suelo y la altura de los instrumentos.” Este puede expresarse como:

$$F_{S,CO_2} = \int_0^{z_m} \frac{\partial \overline{\rho_{CO_2}}}{\partial t} dz$$

Siendo $\overline{\rho_{CO_2}}$ la concentración de CO_2 promediado para el periodo de medición (30 minutos), en kgm^{-3} . Dado que estimar en tiempo continuo es difícil en términos empíricos, se puede recurrir al siguiente método:

$$F_{S,CO_2} \approx \frac{\overline{\rho_{CO_2}}(t) - \overline{\rho_{CO_2}}(t-1)}{s} z_m$$

Donde t denota la media hora de medición y s es el total de segundos presentes en el período de medición (idealmente $s=1800 = 60 \cdot 30$).

2.6 Estimación de la Serie de Tiempo.

A partir de las Pruebas de Estacionariedad y Turbulencia, para los datos con mala calificación (2), se deben rellenar; por lo que, si el dato está disponible, este es borrado para ser posteriormente imputado. El procedimiento de *Gap Filling* utilizado implicó el cálculo de 5 métodos diferentes, definiendo la variable a ser llenada como Y :

- *Naive Day*: Para un Y_{ij} , donde i es la hora en de día j , se reemplaza su valor con el promedio de los datos disponibles de todas las horas del día j , es decir $\widehat{Y}_{ij} = \bar{Y}_j = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^H Y_{ij}$, donde H es el total de horas disponibles con información marcada como adecuada durante el día j y \widehat{Y}_{ij} es el valor imputado (gap filled) para la hora i en el día j .
- *Naive Day Moving Average* (Velasco Torres 2013): Para un Y_{ij} , donde i es la hora en de día j , se reemplaza su valor con el promedio de los datos disponibles de todas las horas entre los días $Y_{j-\frac{h}{2}}$ y $Y_{j+\frac{h}{2}}$, donde h es el tamaño de una ventana móvil ($h=7$ días) es decir $\widehat{Y}_{ij} = \bar{Y}_j = \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H Y_{ij}$, donde H es el total de horas disponibles con información marcada como adecuada durante la ventana de días y \widehat{Y}_{ij} es el valor imputado (gap filled) para la hora i en el día j .
- *Naive Hour*: Para un dato Y_{ij} en la hora i del día j , se reemplaza su valor con el promedio de los datos disponibles de la hora i para todos los demás días disponibles, es decir $\widehat{Y}_{ij} = \bar{Y}_i = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D Y_i$, donde S corresponde al total de días disponibles con información marcada como adecuada para la hora j .
- *Stepwise Regression* (siguiendo a Dragomir et al (2012)): Se define una matriz de diseño $X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & \cdots & x_{NK} \end{bmatrix}$, donde x_{nk} denota la n -ésima observación de la variable k , $\forall n = 1, 2, \dots, N$ entre las que se encuentran dummies por hora y día, temperatura, velocidad vertical del viento, entre otras, y se empieza a correr una regresión lineal de mínimos cuadrados ordinarios ($Y = X\beta + \epsilon$, minimizando $\sum_{n=1}^N \epsilon_n^2$ para estimar β , con $Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix}$ un vector que contiene todas las observaciones a utilizar en la regresión de Y y $\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \vdots \\ \epsilon_N \end{bmatrix}$) con todas las variables. Posteriormente, el algoritmo va eliminando y poniendo variables siguiendo un criterio de significancia estadística, es decir, si una variable no es significativa al 10%, esta se quita y se reestima el modelo con las demás variables hasta que no encuentra una mejoría por hacer más cambios, dejando como resultado final un set X^* que cumple con estas condiciones.

- *Artificial Neural Network* (ANN): Consiste en estimar un modelo no lineal ampliamente utilizado en esta literatura (Dragomir et al. (2012)): $(Y_n = \sum_{j=1}^M g_m(\omega_m^1 x_n + \omega_m^2 x_n \dots \omega_m^T x_n) + v_n)$, con $x_n = [x_{n1} \dots x_{nk}]$ y minimizando $\sum_{n=1}^N v_n^2$, el cual parte de unas variables input y una relación entre T nodos determinados por una función de activación g (capa oculta), se caracteriza la relación de estas con la variable output (es decir la variable a llenar). A continuación, se muestra un ejemplo ilustrativo del comportamiento de una red neuronal típica:

Dada la complejidad computacional que involucra su estimación, se toma el set de variables X^* de la regresión *Stepwise*, y en su lugar, se realiza un grid de nodos y capas ocultas a utilizar (hasta un máximo de $M=3$ capas ocultas, con un máximo de hasta $T=20$ nodos por capa). Es decir, se prueban todos los modelos desde uno con 1 capa oculta y 1 nodo hasta uno conformado por 3 capas ocultas, con 20 nodos por capa. Esto representa estimar una gran cantidad de modelos (8420), por lo que su cálculo toma un tiempo considerable. Es de notar que típicamente, no se utilizan más de $M=2$ capas ocultas, puesto que esto puede llevar a sobre identificar las relaciones, las cuales podrían ser potencialmente espurias, por lo que usar $M=3$ da una cobertura en general adecuada para realizar esta estimación sin mayor inconveniente. Para más información sobre la implementación de esta metodología en el contexto de EC, véase Friedman et al (2001).

Los métodos se estiman utilizando en todos los casos el 80% de la muestra de datos marcados como buenos (la cual se denomina *training sample*), dejando el 20% restante para evaluar el pronóstico fuera de muestra (*testing sample*).

2.7 Análisis Estadístico.

Redes de Correlación Parcial.

Un modelo Gaussiano de grafos de concentración representa suposiciones de independencia condicional entre un conjunto de p variables aleatorias Y_1, \dots, Y_p , asumiendo que estas siguen una distribución Gaussiana, por medio de un grafo no dirigido G que

codifica el patrón de ceros de su matriz de precisión (también conocida como matriz de concentración), la cual corresponde a la inversa de la matriz de covarianza (cuando esta es positiva definida). Dado un grafo no dirigido G con un conjunto vértices o nodos V y conjunto de aristas E , el correspondiente GCGM es la familia de distribuciones Gaussianas multivariantes con media nula y matriz de covarianza Σ tal que su inversa Ω pertenece al conjunto $\mathbb{P}_G = \{A: A \in \mathbb{P}^+ \text{ y } A_{ij} = 0 \text{ cuando } (i, j) \notin E\}$, donde \mathbb{P}^+ es el espacio de matrices definidas positivas. Por lo tanto, se dice que un GCGM debe ser Markov con respecto a G , es decir, las variables que no comparten una arista en G son condicionalmente independientes dadas todas las demás variables (Dawid y Lauritzen, 1993; Letac y Massam, 2007; Ben-David *et al.*, 2015). Cuando G es desconocido; el problema estadístico implica inferir el patrón de ceros de Ω y estimar sus entradas no nulas. Este tipo de problema se conoce como selección de modelo gráfico o selección de modelo de covarianza (Bickel and Levina 2008; Rajaratnam *et al.*, 2008; Khare *et al.*, 2015).

La correlación parcial entre dos variables aleatorias X e Y dado un conjunto de variables $\mathbf{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$ es una medida de la asociación lineal entre estas dos variables después de controlar por el efecto de \mathbf{Z} (Casella y Berger, 2002) y es un concepto que ha demostrado ser útil en varios campos científicos como por ejemplo la biología de sistemas. Si Y es un vector aleatorio p -dimensional, las correlaciones parciales entre pares de variables dadas todas las variables restantes se pueden estimar a partir de los elementos de Ω ; por lo tanto, los GCGM pueden usarse para estimar la red de correlación parcial de un conjunto de variables de interés.

Se han desarrollado varios métodos para realizar la selección del modelo gráfico. Desde el enfoque frecuentista, se han derivado algunas aproximaciones basadas en funciones de verosimilitud penalizada o funciones de pseudo-verosimilitud penalizadas; algunos ejemplos son el Lasso gráfico (Friedman *et al.*, 2008) y el método denominado "Convex Correlation Selection Method and Algorithm - CONCORD" (Khare *et al.*, 2015). Desde el punto de vista Bayesiano, la selección del modelo se realiza asignando una distribución a priori sobre G , siendo una de las principales características de este enfoque su alto costo computacional. Para superar esta limitación, se han propuesto algunas estrategias híbridas que combinan enfoques frecuentistas y Bayesianos (Ben-David *et al.*, 2015) así como algoritmos de Monte Carlo cadenas de Markov (MCMC por sus siglas en inglés) eficientes

basados en procesos estocásticos de nacimiento y muerte (Mohammadi *et al.*, 2015). Una distribución a priori conjugada para la matriz de precisión comúnmente empleada en GCGM, es la familia denominada “G-wishart” (Roverato, 2000) que tiene una función de densidad de probabilidad (PDF) de la forma:

$$\pi_{(U,\delta)}(\Omega) \propto |\Omega|^{\delta/2} \exp(-tr(\Omega U)/2), U \in \mathbb{P}^+, \delta > 0, \Omega \in \mathbb{P}_G$$

donde δ se conoce como el parámetro de forma y U es una matriz definida positiva. De aquí en adelante, esta distribución se denota como $GW(\delta, U)$. Una familia más general de distribuciones que tiene $k + 1$ parámetros de forma, donde k es el número de cliques de G , fue desarrollada por Letac y Massam (2007) y se conoce como la familia “Wishart tipo II”; sin embargo, esta familia está restringida al caso especial de grafos descomponibles.

El objetivo es estimar el grafo de correlación parcial G y la matriz de precisión Ω de una variable latente p -dimensional que actúa como sustituta de una variable aleatoria observable, usando una muestra de tamaño n . Sean $\mathbf{Y} = (\mathbf{Y}_1', \mathbf{Y}_2', \dots, \mathbf{Y}_n')$ los datos observados (datos continuos, binarios, ordinales o de recuento), y $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \dots, \mathbf{Z}_n$ variables Gaussianas multivariadas idénticas e independientemente distribuidas (IID) con vector de medias $\mathbf{0}$ y matriz de covarianza $R(\Omega)$, donde $R(\Omega)$ corresponde a una matriz de correlación con entradas.

$$R(\Omega)_{ij} = \frac{(\Omega^{-1})_{ij}}{[(\Omega^{-1})_{ii}(\Omega^{-1})_{jj}]^{1/2}}$$

Para cada $i = 1, 2, \dots, n$, Dobra y Lenkoski (2011) modelaron la distribución continua de \mathbf{Y}_i como

$$\mathbf{Z}_i \sim N_p(\mathbf{0}, R(\Omega)),$$

$$Y_{ij} = F_j^{-1}(\Phi(Z_{ij})), j = 1, 2, \dots, p$$

Donde F_j y F_j^{-1} son las funciones de distribución acumulada (FDA) marginal de Y_{ij} y sus pseudoinversas, Φ es la FDA de la distribución Gaussiana estándar univariada. La siguiente es la distribución conjunta de \mathbf{Y}

$$\begin{aligned}
P(Y_{i1} \leq y_1, Y_{i2} \leq y_2, \dots, Y_{ip} \leq y_p) &= F(y_1, y_2, \dots, y_p | R(\Omega), F_1, \dots, F_p) \\
&= C(F_1(y_1), \dots, F_p(y_p) | R(\Omega))
\end{aligned}$$

donde $C(x_1, \dots, x_p | K) = \Phi_p(\Phi^{-1}(x_1), \dots, \Phi^{-1}(x_p) | K)$ es la cópula Gaussiana con matriz de correlación K (Nelsen, 1999) y $\Phi_p(\cdot | K)$ es la FDA de la distribución $N_p(\mathbf{0}, K)$. Dobra y Lenkoski (2011) trataron las distribuciones marginales F_1, \dots, F_p como parámetros de ruido lo cual evita la necesidad de hacer suposiciones formales sobre sus representaciones paramétricas.

El parámetro de interés en este modelo es la matriz de correlación de la cópula Gaussiana, y siguiendo a Hoff (2007), la inferencia se realiza en el espacio de variables latentes utilizando lo que Hoff (2007) denominó la verosimilitud de rango extendido la cual no depende de F_1, \dots, F_p . La verosimilitud de rango extendido se denota como $f(\mathcal{D} | \Omega)$ donde \mathcal{D} es un conjunto de eventos que depende de los datos observados que se define como:

$$\begin{aligned}
\mathcal{D} &= \{Z \in \mathbb{R}^{n \times p} : L_{ij}(Z) < Z_{ij} < U_{ij}(Z), 1 \leq i \leq n; 1 \leq j \leq p\} \\
L_{ij}(Z) &= \max\{Z_{kj} : Y_{kj} < Y_{ij}\}, U_{ij}(Z) = \min\{Z_{kj} : Y_{ij} < Y_{kj}\}
\end{aligned}$$

Dobra y Lenkoski (2011) extendieron la aproximación propuesta por Hoff (2007) imponiendo ceros estructurales en Ω cuyo patrón se codifica mediante un grafo no dirigido G como se explicó anteriormente. Por lo tanto, en un problema de selección de modelo gráfico, los parámetros de interés son Ω y G y su distribución posterior es de la forma:

$$f(\Omega, G | \mathcal{D}) \propto f(\mathcal{D} | \Omega) f(\Omega | G) f(G).$$

Téngase en cuenta que las inferencias se hacen en el espacio de variables latentes, es decir, la red de correlación parcial y la matriz de precisión que se está estimando son las correspondientes a las variables latentes. En consecuencia, es importante tener en mente que las relaciones de independencia condicional inferidas se traducen en relaciones de independencia condicional en el espacio de variables observadas si estas son continuas;

de lo contrario, podrían existir aristas en G que no correspondan a covarianzas condicionales entre los datos observados (Dobra y Lenkoski, 2001).

El análisis de los datos se realizó utilizando un CGGM con una distribución a priori $GW(3, I_p)$ para Ω y una distribución a priori discreta uniforme para G , donde I_p es la matriz de identidad de dimensión $p \times p$. Para realizar la inferencia, se obtuvieron muestras de la distribución posterior $f(\Omega, G|\mathcal{D})$ mediante el algoritmo MCMC de nacimiento y muerte (BDMCMC) desarrollado por Mohammadi *et al.*, (2015) e implementado en el paquete BDgraph (Mohammadi y Wit, 2015a) de R. El grafo G se seleccionó usando un enfoque de promediado Bayesiano de modelo (PBM), específicamente, se eligieron nodos con una probabilidad posterior superior a 0.5. Se obtuvieron un total de 100000 muestras descartando las primeras 50000 (fase de calentamiento).

En este estudio, la determinación del modelo gráfico se basó en PBM; alternativamente, se podría usar un enfoque de máximo a posteriori (MAP), es decir, seleccionar el grafo con mayor probabilidad posterior. Dobra y Lenkoski (2011) recomendaron utilizar PBM en conjuntos de datos de gran dimensión donde el tamaño de la muestra es pequeño, porque el grafo con mayor probabilidad posterior puede tener una probabilidad muy pequeña y además, los grafos que difieren en algunas aristas pueden tener probabilidades posteriores muy similares. En adición, cuando la incertidumbre del modelo es alta, como en este caso, PBM es un método apropiado para realizar la inferencia (Ghosh *et al.*, 2006; Dobra y Lenkoski, 2011). Sin embargo, en futuras investigaciones podría ser interesante comparar los grafos seleccionados a través de los enfoques BMA y MAP.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, el precio pagado por la generalidad de los CGGM es el hecho de que la selección del modelo gráfico se realiza en el espacio de variables latentes, no en el espacio de los datos observados y a menos que todas las variables sean continuas, la estructura de independencia condicional inferida para las variables latentes no está en correspondencia uno a uno con las relaciones de independencia condicional de las variables de interés, esto debe considerarse para la interpretación de los resultados obtenidos de estos modelos. No obstante, Dobra y Lenkoski (2011) señalaron que las dependencias adicionales entre los datos observados inducidos por la presencia de variables discretas podrían considerarse de relevancia

secundaria porque surgen de las distribuciones marginales de los datos (F_1, \dots, F_p) . Además, al analizar conjuntos de datos reales, estos autores mostraron que se pueden obtener resultados útiles a partir del grafo seleccionado, ejemplos similares se pueden encontrar en Mohammadi y Wit (2015b).

Modelos Gráficos Bayesianos.

En modelos de regresión lineal múltiple que consideran coeficientes de regresión aleatorios resulta de interés llevar a cabo inferencias sobre los componentes de (co)varianza asociados a dichos parámetros; generalmente se asume que estos distribuyen de manera independiente o que todos se encuentran marginalmente correlacionados, esto es, su matriz de covarianzas no tiene entradas nulas (Rawlings *et al.*, 1998). Sin embargo, es bastante útil explorar la estructura de correlación parcial entre tales efectos, ya que el concepto de correlación parcial puede permitir un mejor entendimiento de las interacciones entre un grupo de variables aleatorias que el de correlación marginal. Esta estructura se puede explorar mediante la estimación de la matriz de precisión o de concentración, la cual corresponde a la inversa de la matriz de covarianzas, ya que dicha matriz contiene las covarianzas condicionales entre pares de variables aleatorias dadas las demás variables consideradas y por lo tanto, los ceros en los elementos fuera de la diagonal de esta matriz equivalen a correlaciones parciales nulas (Lauritzen, 1996). En adición, bajo el supuesto de distribución normal multivariada, los ceros de la matriz de precisión se traducen en independencia condicional entre el par de variables correspondiente dadas las demás variables (Lauritzen, 1996).

En los modelos Gaussianos de grafos de concentración (MGGC), el patrón de ceros de la matriz de precisión se codifica mediante un grafo no dirigido y cuando dicho grafo es desconocido, se tiene un problema estadístico conocido como selección de modelo de covarianza inversa o selección de grafo de correlación parcial (Bickel y Levina 2008; Rajaratnam *et al.*, 2008). Dichos modelos se han desarrollado en el contexto de la estimación de la matriz de precisión de una variable aleatoria multidimensional observable con vector de medias nulo; sin embargo, en el contexto de regresión lineal múltiple, el problema consiste en la estimación de la matriz de precisión de una variable aleatoria multidimensional no observable (el vector de coeficientes de regresión) junto con la

estimación de la matriz de covarianzas de los residuales y por supuesto, la estimación del vector de coeficientes de regresión. Martínez *et al.* (2017) desarrollaron una serie de modelos y métodos estadísticos que adaptan la teoría de MGGC y otros modelos gráficos al caso de un modelo de regresión múltiple en el que se quiere estimar el grafo o red de correlación parcial de los coeficientes de regresión junto con la correspondiente matriz de precisión. El modelo Bayesiano basado en MGGC denominado Bayes G-Sel estimó adecuadamente la red de correlación parcial y la matriz de precisión de los coeficientes de un modelo de regresión múltiple. Si bien los modelos y métodos de Martínez *et al.* (2017) se desarrollaron en el contexto de un problema de predicción en genética, estos se pueden aplicar en cualquier problema que involucre regresión lineal múltiple.

Después del control de calidad y edición de registros mencionados en la sección anterior, se procedió a crear una base de datos en la que se eliminaron observaciones con registros perdidos para las variables tenidas en cuenta en este estudio, además, los registros de flujo y concentración de CO₂ fueron transformados utilizando el método propuesto por Box y Cox (1964), esto con la finalidad de obtener variables con una distribución normal. La variable tiempo se definió en días, siendo el momento cero la hora y fecha en la que se tomaron las primeras mediciones, así; por ejemplo, las mediciones tomadas en la segunda media hora tuvieron un valor de tiempo igual a 1/48. El efecto de la variable Tiempo se modeló mediante el uso de regresión trigonométrica, esto con la finalidad de tener en cuenta el comportamiento periódico de las variables respuesta (Rawlings *et al.*, 1998). Para determinar la frecuencia de las funciones seno y coseno utilizadas, se emplearon gráficas del comportamiento diario de las dos variables respuesta; se observó que el periodo medio para concentración de CO₂ fue de medio día y para flujo de CO₂ de un cuarto de día. El modelo utilizado para estimar los efectos de las variables explicativas sobre cada una de las variables respuesta, seleccionar los correspondientes grafos de correlación parcial y estimar las matrices de precisión, fue el modelo Bayesiano jerárquico denominado Bayes G-Sel (Martínez *et al.*, 2017). En notación escalar, el modelo utilizado fue la siguiente:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i} + \beta_6 X_{6i} + \beta_7 X_{7i} + \beta_8 X_{8i} + \beta_9 X_{9i} + \beta_{10} X_{10i} \\ + \beta_{11} X_{11i} + \beta_{12} t_i + \beta_{13} \text{sen}\left(\frac{2\pi t_i}{per}\right) + \beta_{14} \text{cos}\left(\frac{2\pi t_i}{per}\right) + e_i$$

en donde y_i es el i -ésimo registro de la variable dependiente (concentración o flujo de CO_2), X_{1i}, \dots, X_{10i} son las correspondientes observaciones para las variables temperatura (medida por la Eddy), velocidad vertical, velocidad media (Eddy), temperatura (medida por la Davis), humedad relativa, velocidad del viento (medida por la Davis), máxima velocidad del viento (medida por la Davis) y precipitación, respectivamente, X_{11i} es la variable dicotómica indicando la presencia o ausencia de los animales en el lote del cual se obtuvieron las mediciones, t_i es la variable Tiempo (en días), es decir, el momento al cual se tomó la medición, per el periodo de las funciones seno y coseno, así, $per = 0.5$ para concentración de CO_2 y $per = 0.25$ para flujo de CO_2 , β_0 es el intercepto, $\beta_1, \dots, \beta_{14}$ son los coeficientes de regresión aleatorios de las respectivas variables explicativas y e_i es el residual. Para especificar el componente aleatorio del modelo, resulta más conveniente expresarlo en notación matricial, esto es, $\mathbf{y} = X\boldsymbol{\beta} + \mathbf{e}$, donde \mathbf{y} el vector de observaciones (concentración de CO_2 o flujo de CO_2), X la matriz de diseño, $\boldsymbol{\beta}$ el vector de parámetros de localización y \mathbf{e} el vector de residuales, así, el componente estocástico es como sigue (Martínez *et al.*, 2017):

$$\begin{aligned} \mathbf{y} | \boldsymbol{\beta}, \sigma^2 &\sim N_n(X\boldsymbol{\beta}, \sigma^2 I) \\ \sigma^2 &\sim GI\left(\frac{\tau^2}{2}, \frac{v}{2}\right) \\ \boldsymbol{\beta} | \Omega &\sim N_p(\mathbf{0}, \Omega^{-1}) \\ \Omega | G &\sim GW(\delta, U) \\ G &\sim \text{Uniforme} \end{aligned}$$

en donde Ω corresponde a la matriz de precisión, σ^2 es la varianza residual, G es el grafo o red de correlación parcial de los coeficientes de regresión con conjunto de nodos o vértices V y conjunto de aristas E , n es el tamaño de muestra, p es el número de parámetros de localización, $N_k(\cdot, \cdot)$ representa la distribución normal multivariada k -dimensional, $GI(\cdot, \cdot)$ es la distribución Gamma inversa, $GW(\cdot, \cdot)$ es la distribución G-Wishart (Roverato, 2000). Los parámetros de la distribución G-Wishart son el número real $\delta > 0$, conocido como el parámetro de forma y la matriz $U \in \mathbb{P}^+$, donde \mathbb{P}^+ es el espacio de matrices definidas positivas. Bajo este modelo, el espacio paramétrico de la matriz de precisión es el siguiente conjunto (conocido en matemáticas como un cono):

$$\mathbb{P}_G = \{A: A \in \mathbb{P}^+, A_{ij} = 0 \text{ si } (i, j) \notin E\}.$$

En este modelo, todos los parámetros e hiper-parámetros tienen distribuciones condicionales completas convencionales con excepción de Ω , cuya distribución condicional completa es $GW(\delta + 1, U + S_\beta)$, $\Omega \in \mathbb{P}_G$, $S_\beta = \boldsymbol{\beta}\boldsymbol{\beta}'$. En nuestros análisis, $\delta = 3$ y U fue la matriz identidad de dimensiones $p \times p$. La selección del modelo de covarianza inversa se realizó utilizando el método derivado por Martínez et al. (2017) el cual selecciona el grafo (modelo) con mayor probabilidad a posteriori combinando la aproximación de Laplace con integración de Monte Carlo. Bajo una distribución a priori uniforme para el grafo, seleccionar el modelo con mayor probabilidad a posteriori equivale a seleccionar el modelo con el mayor valor de la verosimilitud marginal $f(\mathbf{y}|G)$, la cual se aproxima mediante la constante de normalización de una distribución $GW(\delta + 1, \widehat{\boldsymbol{\beta}}\widehat{\boldsymbol{\beta}}' + U)$, donde $\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (X'X)^{-1}X'\mathbf{y}$. La razón por la que el valor de esta verosimilitud marginal es aproximado, es que obtenerlo de manera exacta implica evaluar una integral múltiple que no tiene forma cerrada. Martínez et al. (2017) recomendaron emplear esta aproximación para los casos en los que $n > p$ porque el tiempo de computo es menor al obtenido utilizando solamente integración de Monte Carlo. Cuando se tienen p nodos, el número de posibles grafos no dirigidos es $2^{p(p-1)/2}$, número que aumenta rápidamente con p , incrementando notablemente el costo computacional de la selección Bayesiana de modelo. De hecho, para valores no muy grandes de p , la selección de modelo de covarianza inversa puede ser un problema computacionalmente intratable; por ejemplo, en nuestro caso $p=14$ y el número de posibles grafos no dirigidos es $2.47588007857076E+27$. Por ello, Martínez et al., (2017) utilizaron la estrategia propuesta por Ben-David et al. (2015) basada en un algoritmo estocástico de búsqueda local, para mayor detalle, ver Martínez et al. (2017). Una vez se seleccionó el modelo de covarianza inversa, la matriz de precisión, la varianza residual y el vector $\boldsymbol{\beta}$ fueron estimados empleando el modelo Bayesiano descrito anteriormente, los estimadores utilizados fueron las medias posteriores calculadas a partir de muestras aproximadas de la distribución posterior conjunta obtenidas mediante un muestreador de Gibbs como se propuso en Martínez et al. (2017). Se obtuvieron un total de 100000 muestras, las primeras 50000 fueron descartadas. Para realizar la edición y preparación de datos e implementar los procedimientos estadísticos antes descritos, se crearon códigos originales en el programa R (R Core Team, 2017).

Análisis de Cluster.

El objetivo del análisis de conglomerados es dividir o segmentar una colección de n objetos (individuos) en una serie de grupos homogéneos utilizando información proveniente de p variables observadas en cada uno de dichos objetos o mediante su relación con otros objetos (Hastie *et al.*, 2009). Así, lo que se busca es que los objetos clasificados dentro del mismo grupo o conglomerado sean más similares entre sí que con elementos de otros conglomerados. Debido a que los grupos o conglomerados no se conocen de antemano, este tipo de agrupamiento se conoce como no supervisado (Bishop 2006; Hastie *et al.*, 2009). Existen varios métodos para alcanzar este objetivo, siendo el agrupamiento jerárquico y el método de las K medias unos de los más populares (Bishop 2006; Hastie *et al.*, 2009).

En el caso de la agrupación jerárquica se tienen dos paradigmas: agrupamiento aglomerativo y divisivo. En el primer caso, se inicia con n conglomerados, cada uno constituido por un único objeto, luego, se da inicio a un algoritmo en el que de manera recursiva se van mezclando pares de grupos de manera tal que los dos grupos que se combinan sean los más similares, esto se logra uniendo los dos conglomerados con la menor disimilitud entre grupos; de esta manera, en cada paso del algoritmo se tiene un conglomerado menos. De otro lado, los métodos divisivos inician considerando un único grupo constituido por todos los objetos a clasificar y en cada uno de los pasos del algoritmo, uno de los conglomerados es dividido en dos. La separación se hace de manera tal que se generen dos nuevos grupos con la mayor disimilitud entre grupos. En este caso, en cada paso del algoritmo se genera un nuevo conglomerado. Los dos tipos de algoritmo generan una jerarquía con $n - 1$ niveles (Bishop 2006; Hastie *et al.*, 2009). Los resultados de los algoritmos de tipo aglomerativo y algunos divisivos suelen visualizarse mediante un dendograma, el cual corresponde a un árbol enraizado binario, en el cual los nodos de los árboles representan grupos y el nodo raíz representa el grupo completo de objetos. En el dendograma, la altura en cada nodo es proporcional al valor de la distancia o disimilitud entre grupos de sus dos descendientes. En particular, cuando se hace agrupamiento jerárquico utilizando el denominado método de Ward, se emplea como medida de distancia entre dos conglomerados el aumento de la suma de cuadrados dentro de grupo al

combinar estos dos grupos en uno solo. Por lo tanto, si denotamos al grupo resultante de la unión entre los grupos A y B como U_{AB} , esta distancia se calcula como

$$d_W(A, B) = \sum_{i \in U_{AB}} \sum_{j=1}^p (X_{ij} - \bar{X}_{U_{AB}j})^2 - \sum_{i \in A} \sum_{j=1}^p (X_{ij} - \bar{X}_{Aj})^2 - \sum_{i \in B} \sum_{j=1}^p (X_{ij} - \bar{X}_{Bj})^2$$

en donde X_{ij} es el valor de la j -ésima variable (por ejemplo, el valor de litros por hectárea por año de la i -ésima finca) medida en el i -ésimo objeto, \bar{X}_{kj} es el promedio de la j -ésima variable en el grupo k , $k \in \{A, B, U_{AB}\}$. Para un conglomerado dado, el vector formado por $\bar{X}_{k1}, \dots, \bar{X}_{kp}$ corresponde al centro, es decir, estas son las coordenadas del centro. Después de algunos pasos algebraicos, se puede demostrar que

$$d_W(A, B) = \frac{n_A n_B}{n_A + n_B} \sum_{j=1}^p (\bar{X}_{Aj} - \bar{X}_{Bj})^2.$$

donde n_A n_B son el número de elementos en los grupos A y B . Esta distancia se conoce como la distancia de Ward, de allí el nombre del método; además, algunos autores la denominan costo de unión de los grupos A y B . Por consiguiente, en cada paso del agrupamiento jerárquico aglomerativo basado en la distancia de Ward, se combinan los dos grupos que generen el menor valor de $d_W(A, B)$ (Bishop, 2006). Cabe notar que en la actualidad existen algunas variaciones del método.

Por otra parte, el método de las K medias se basa en distancias Euclidianas como medidas de disimilitud, el número de conglomerados K debe ser definido y el algoritmo se inicia asignando K valores iniciales para los centros de cada conglomerado. Luego, cada observación es asignada al conglomerado cuyo centro esté más cerca (según la distancia Euclidiana al cuadrado). En el siguiente paso, los centros de los conglomerados son recalculados utilizando las medias de cada coordenada de los objetos que estos contienen (Bishop 2006; Hastie *et al.*, 2009). Como se mencionó antes, el número de conglomerados K debe ser proporcionado para dar inicio al algoritmo de las K medias; por lo tanto, este número es un parámetro que debe definirse antes de hacer la clasificación final. Se han desarrollado múltiples aproximaciones para definir el número de conglomerados; algunos

de los criterios más empleados son la amplitud de silueta (Rousseeuw, 1987), la varianza dentro de grupos total y la estadística de brecha o de diferencia (*gap statistic* en inglés, Tibshirani *et al.*, 2001). En general, los métodos basados en los datos, analizan medidas de disimilitud dentro de grupo (W_K) como función del número de conglomerados y se basan en la siguiente idea. Suponga que realmente existen K^* conglomerados y que cuando el número de grupos K es menor que K^* , la solución (i.e., el agrupamiento estimado) contendrá subconjuntos de los verdaderos grupos subyacentes, esto es, objetos que pertenecen al mismo grupo subyacente (verdadero) no son asignadas a diferentes conglomerados estimados. Así, si esta situación se da durante el proceso de selección del número de grupos, el criterio de disimilitud dentro de grupos W_K decrecerá marcadamente a medida que los verdaderos grupos son separados en diferentes conglomerados, mientras que una vez K es mayor que K^* , dicha disminución será muy pequeña puesto que se estarían separando elementos bastante similares (pertenecen al mismo conglomerado verdadero). Por lo tanto, cuando se grafica W_K contra el número de grupos o conglomerados, se busca el valor de K en donde la curva resultante muestra un “codo” o “pliegue”. De manera similar, cuando se usan medidas de similitud dentro de grupo, como por ejemplo la amplitud de silueta, se busca el valor de K que las maximice.

La amplitud de silueta mide que tan similar es cada objeto a los demás miembros de su conglomerado respectivo (Rousseeuw, 1987). Esta amplitud toma valores en el intervalo real $[-1,1]$, valores cercanos a 1 indican un buen agrupamiento, mientras que valores cercanos a -1 indican un agrupamiento pobre. Cabe mencionar que esta amplitud puede ser utilizada tanto para determinar el número de conglomerados como para validar un agrupamiento dado. Objetos cuya distancia de silueta estimada es negativa pueden ser reclasificados en el grupo más cercano, esto es, aquel que se encuentra más cerca al objeto en cuestión. A continuación se explica el cálculo de esta distancia. Sea i el i -ésimo objeto, $i = 1, 2, \dots, n$, la disimilitud media entre i y los demás miembros de su grupo se denota como a_i ; por ejemplo, esta disimilitud puede ser medida a través de la distancia Euclidiana al cuadrado. Ahora bien, para definir el grupo vecino de i , se procede a calcular las disimilitudes medias entre i y los miembros de cada uno de los conglomerados a los que i no pertenece; en notación formal, el conglomerado vecino de i , denotado como b_i es

$$b_i = \operatorname{argmin}_{C \in H^i} d(i, C)$$

donde H^i es el conjunto de grupos a los que i no pertenece y $d(i, C)$ representa la disimilitud media entre i y los miembros de C . Finalmente, la distancia de silueta se define como sigue

$$S_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)}.$$

De la anterior expresión se sigue que $-1 \leq S_i \leq 1$. Una regla general para la interpretación de S_i es la siguiente. Si S_i es cercano a 1, entonces el i -ésimo objeto está bien agrupado, si S_i es cercano a cero, el i -ésimo objeto puede estar entre dos grupos, finalmente, si S_i es cercano a -1, el i -ésimo objeto está probablemente mal agrupado. En este último caso, se puede tomar la decisión de re-asignar el objeto a b_i , esto es, al grupo más próximo.

De otro lado, la definición del número de conglomerados puede basarse en la reducción de la suma de cuadrados dentro de grupo. En este caso, se usa la gráfica en la que se tiene el número de conglomerados en el eje X y la correspondiente suma de cuadrados dentro de grupo en el eje Y. La suma de cuadrados dentro de grupo tenderá a decrecer a medida que aumenta el número de conglomerados, así, como se describió anteriormente para el caso general, se busca un “codo” en dicha gráfica, esto es, el punto en el que la reducción en la suma de cuadrados dentro de grupo no es muy marcada al aumentar el número de conglomerados en uno.

Friedman *et al.* (2001), derivaron un criterio para determinar el número de grupos que se basa en la diferencia entre la curva $\log(W_K)$ y la curva obtenida a partir de datos que siguen una distribución uniforme definida a partir de un rectángulo que contiene los datos. El número de grupos corresponde al valor de K donde la diferencia o brecha entre las dos curvas es mayor. Básicamente, este método detecta de manera automática el “codo” o “pliegue” en la curva que muestra W_K en función de K (Hastie *et al.*, 2009).

En general, el objetivo de la validación es evaluar la calidad del agrupamiento estimado. Se pueden mencionar tres tipos de validación del agrupamiento estimado: interna, externa y relativa (Charrad *et al.*, 2014). La validación interna comprende el uso de información generada en el proceso de agrupamiento. De otro lado, la validación externa utiliza

información conocida sobre los objetos que se están clasificando para evaluar la calidad del agrupamiento estimado. Finalmente, la validación relativa evalúa la estructura de grupos estimada al variar diferentes parámetros de un mismo algoritmo; por ejemplo, el número de grupos en el método de las K-medias. Este tipo de validación es generalmente utilizada para determinar el número de conglomerados.

Como se mencionó previamente, la amplitud de silueta puede ser utilizada para validar el agrupamiento estimado; una amplitud de silueta media cercana a 1 es indicador de una adecuada estructura de los conglomerados estimados, mientras que valores cercanos a -1 sugieren una pobre estimación de grupos. En el caso de agrupamiento jerárquico, un criterio utilizado para chequear la calidad del dendograma es la correlación entre las distancias utilizadas para construirlo y las denominadas distancias cofenéticas, las cuales corresponden a las alturas del dendograma a las cuales cada par de puntos son puestos juntos por primera vez; esta correlación se conoce como correlación cofenética. Como regla general, una correlación cofenética mayor o igual a 0.75 es un indicador de que el dendograma preserva las distancias originales de manera fidedigna.

Finalmente, el índice de Dunn (Dunn, 1974), es otro criterio utilizado para validación interna de los conglomerados estimados, este índice se calcula como sigue

$$D = \frac{SMin}{DMax}$$

donde

SMin es la separación mínima y *DMax* es el diámetro máximo. Para cada objeto, se calcula la distancia entre este y todos los demás objetos que no pertenecen a su conglomerado, *SMin* corresponde a la menor de estas distancias. De otro lado, *DMax* corresponde a la máxima distancia intra-conglomerado. Valores altos de este criterio indican conglomerados compactos y bien separados.

Tablas de Contingencia.

Las relaciones entre variables categóricas se presentan en tablas de contingencia cruzada o simple. Una tabla de contingencia es una tabla que muestra la frecuencia absoluta de forma cruzada en varias variables categóricas, generalmente dos. Así, cada una de las casillas muestra la cantidad de observaciones que tienen dos características de forma simultánea.

De forma exploratoria, las tablas de contingencia revelan la posible relación entre las variables, sin embargo, solo a partir de la prueba Chi-cuadrado se puede verificar. La prueba Chi-cuadrado juzga el siguiente sistema de hipótesis:

$$H_0: \rho = 0 \text{ Las dos variables son independientes}$$

$$H_1: \rho \neq 0 \text{ Las dos variables son dependientes}$$

Donde ρ es el coeficiente de asociación de Mathews, el semejante al de correlación de Pearson para variables categóricas, entre las variables involucradas en la tabla de contingencia. La prueba establece una tabla de contingencia esperada, la cual supone independencia en las variables categóricas, tal como lo indica la hipótesis nula. A continuación, se presenta el estadístico de prueba, ejemplificado en una tabla 2 x 2, pero la noción similar para tablas de mayor tamaño:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_{ij} - \mu_{ij})^2}{\mu_{ij}}$$

En el estadístico de prueba, μ_{ij} es la frecuencia esperada, bajo la hipótesis nula cierta, en las categorías ij . El p-valor asociado a la prueba anterior y el nivel de confianza del estudio, determina si se rechaza o no la hipótesis nula, es decir, determina la existencia de la dependencia entre las variables.

Luego de rechazar la hipótesis nula y dependiendo de las variables que se relacionen, se considera una relación dependiente o condicional. Tan pronto como se pueda "afirmar" la relación entre las variables, y mientras se pueda entender una de ellas como el éxito o el fracaso de un experimento, es posible establecer la razón de oportunidades, conocida comúnmente como la razón de Odds (Odds ratio), la cual busca explicar a partir de

probabilidades la ventaja adicional que tiene un grupo respecto a otro, de tener éxito. La razón de Odds para una tabla de contingencia 2 x 2, se calcula de la siguiente manera:

$$\Theta = \frac{n_{11}n_{22}}{n_{12}n_{21}}$$

En la cual, n_{ij} es la frecuencia de la categoría i en el grupo j . La razón de Odds, se interpreta de forma comparativa alrededor de uno (1), así, si $\Theta=1$ ningún grupo presenta ventajas respecto al otro, a la hora de tener un evento exitoso.

De acuerdo al análisis descrito anteriormente, se presentan los resultados de la estación EC ubicada en el C.I. La libertad.

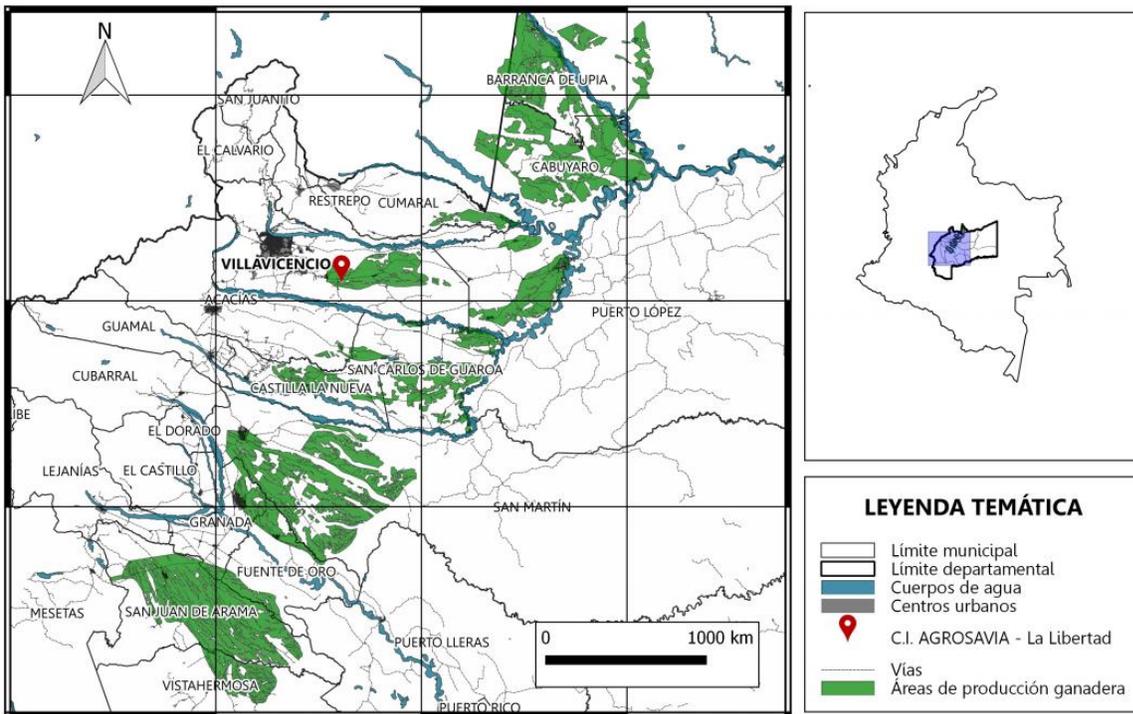
3. Resultados y Discusión

3.1 Apreciación del Sistema

El objetivo de los agroecosistemas ganaderos es transformar material fibroso con alto contenido de carbohidratos estructurales no aprovechables por los humanos en alimentos de alta calidad nutritiva como carne y/o leche (Carmona *et al.*, 2015; Hoffmann, 2010); característica del sistema de producción propuesto y representativo para 455.623 ha en usos ganaderos de la unidad homogénea de paisaje que conforma el piedemonte mixto en terrazas media y alta en 18 municipios del departamento del Meta, como se muestra en la Figura 3-1.

Figura 3-1. Representatividad del sitio experimental.

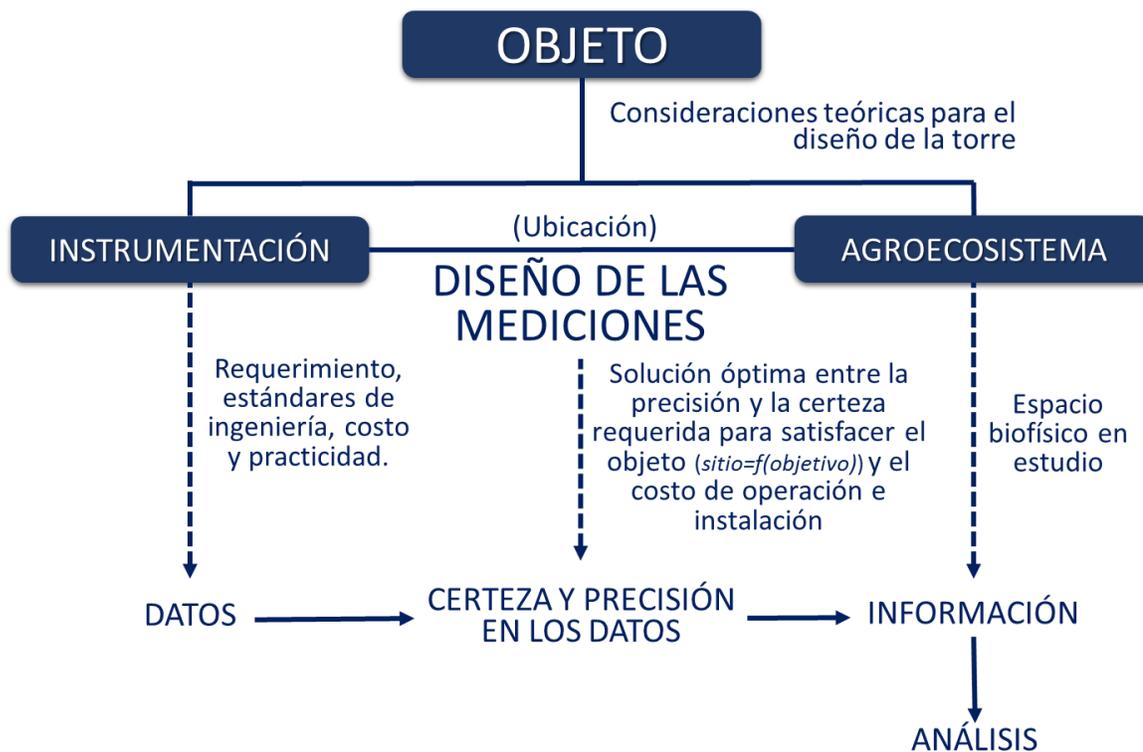
ÁREAS DE PRODUCCIÓN GANADERA (2014) EN PIEDEMONTES MIXTO EN TERRAZAS



Fuente: Elaboración propia

Para evaluar el agroecosistema ganadero bajo estudio con la técnica *Eddy Covariance* (EC), se estableció un diseño experimental que permitió a la torre de flujos integrar el objeto, la instrumentación y el ecosistema, en un planteamiento operativo que incluyó no sólo las consideraciones teóricas para el diseño de la torre, sino que además, los requerimientos funcionales, los estándares de ingeniería, el costo y la practicidad operativa para el espacio biofísico en estudio (Aubinet *et al.*, 2012); lo cual se tradujo en una solución óptima entre la precisión y la certeza requerida para la captura y el análisis de la información, como se aprecia en la Figura 3-2.

Figura 3-2. Esquema del diseño de las mediciones de la torre de flujos.



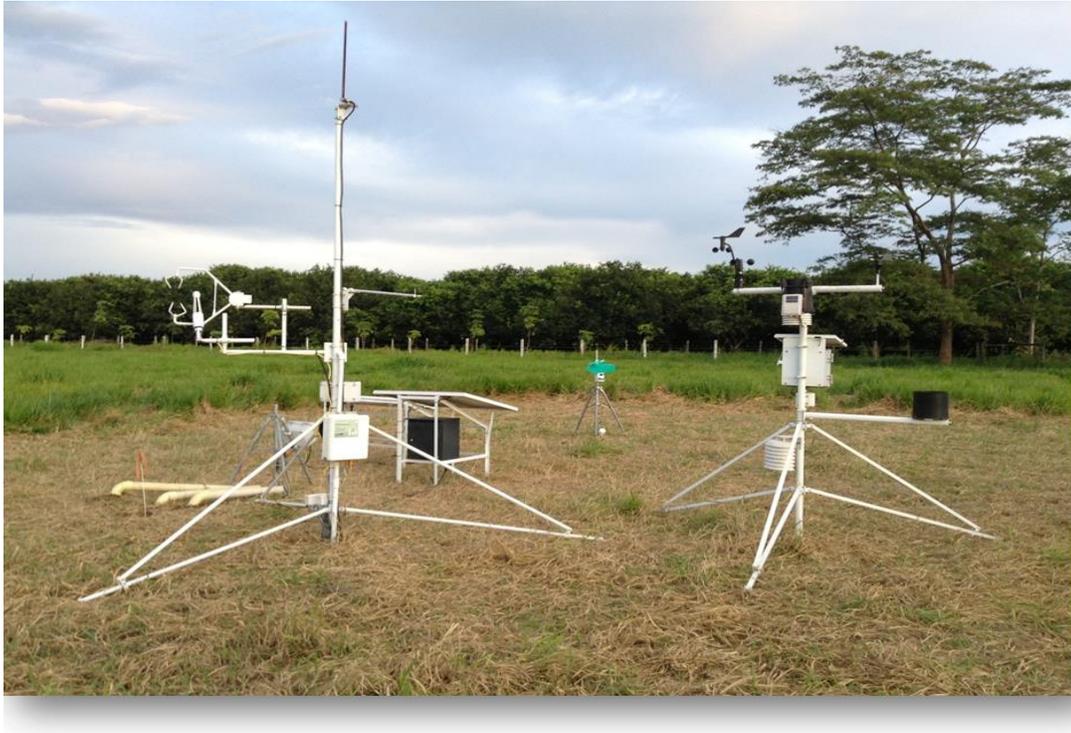
Fuente: Elaboración propia

El anemómetro sónico y el analizador de gases infrarrojo fueron instalados en la torre de flujos a una altura de captura de información correspondiente a 1,70 m desde el suelo como se aprecia en la Figura 3-3; la evaluación a partir del criterio de Monteith y Unsworth (2008) señala con valores de 1,70 m > (1,35 m a 1,37 m), que la altura es válida, adecuada y pertinente para los sensores instalados, y por lo tanto, el sistema tiene la capacidad de acceder a su entorno a través y por encima del dosel de la pastura, para lograr capturas apropiadas de datos del agroecosistema ganadero (Tong *et al.*, 2014; Burba, 2013; Aubinet *et al.*, 2012).

El resultado del criterio de Dyer y Hicks (1970); Hicks (1976) Lemon (1960) y Monin y Obukhov (1954), con valores aproximadamente iguales a la altura (h) propuesta, 1,70 m ≈ (1,69 m a 1,71m), confirma lo mencionado en el párrafo anterior, ya que la proximidad en los valores establece la validez; cuando la altura excede lo requerido, el *footprint* durante

las condiciones nocturnas se extiende más allá de la capa límite, y cuando es menor, no permite lograr las medidas correctas (Burba 2013; Aubinet *et al.*, 2012; Curtis *et al.*, 2002).

Figura 3-3. Sistema *Eddy Covariance*.



(A la izquierda torre de flujos *Eddy Covariance*, a la derecha estación Davis Advantage PRO-2)

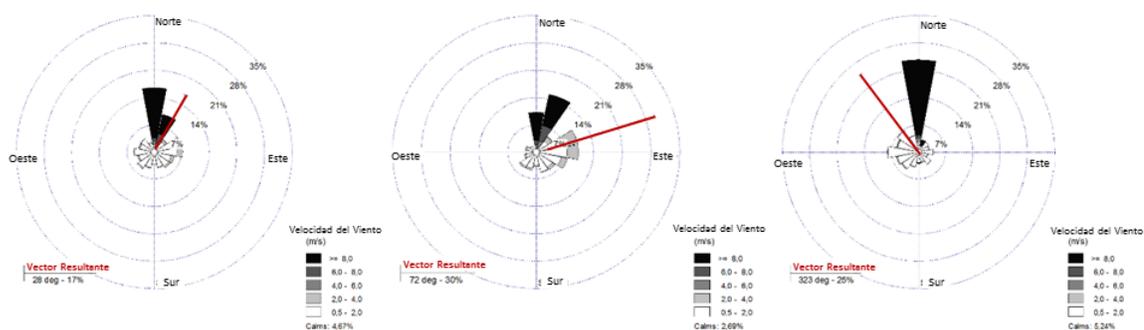
Con respecto del tamaño, como se aprecia en la Figura 3-3, el diseño *antennae-style* con una base real < 4 m, es el pertinente al reducir al mínimo los elementos estructurales ya que los instrumentos en la torre deben ser instalados donde se minimice la disturbancia con respecto a la medición (Culf *et al.*, 1996); en los sistemas no forestales, como en este caso, al no existir en el lote un dosel para enmascarar la torre, se mitiga el impacto que la estructura de soporte genera en el ambiente y se minimiza así la distorsión del flujo (Aubinet *et al.*, 2012). Es un requerimiento que se determina debido a las interacciones específicas del lugar en presencia de la torre, tipo de ecosistema, estructura y microclima local (Munger *et al.*, 2012).

La torre recoge información horizontal que es útil para evaluar la estructura, la función y el microclima, entre otras variables del agroecosistema (Reimers *et al.*, 2017; Burba, 2013;

Eubinet *et al.*, 2012). La instalación del sistema EC se realizó a partir del análisis de los datos climáticos de 30 años (1980 – 2012) de la estación agroclimatológica La Libertad del IDEAM; con éstos se estableció el vector de dirección ($^{\circ}$) y velocidad del viento ($m.s^{-1}$), que determinaron la orientación que tendrían los sensores en el lote (40° Norte). Los vectores resultantes, Figura 3-4A, establecieron la dirección norte-noreste, como el área que actúa como fuente principal. Esta distancia, definió la “distancia máxima” de la huella de captura, que maximizó el tiempo de la torre en la dirección de los vientos predominantes y su área de influencia de captura de datos (Burba y Anderson 2010; Victoria *et al.* 2011).

Es importante señalar, la existencia de una variación en cuanto a la dirección predominante entre el día y la noche, este-noreste y norte-noroeste respectivamente, como se aprecia en las Figuras 3-4B y 3-4C.

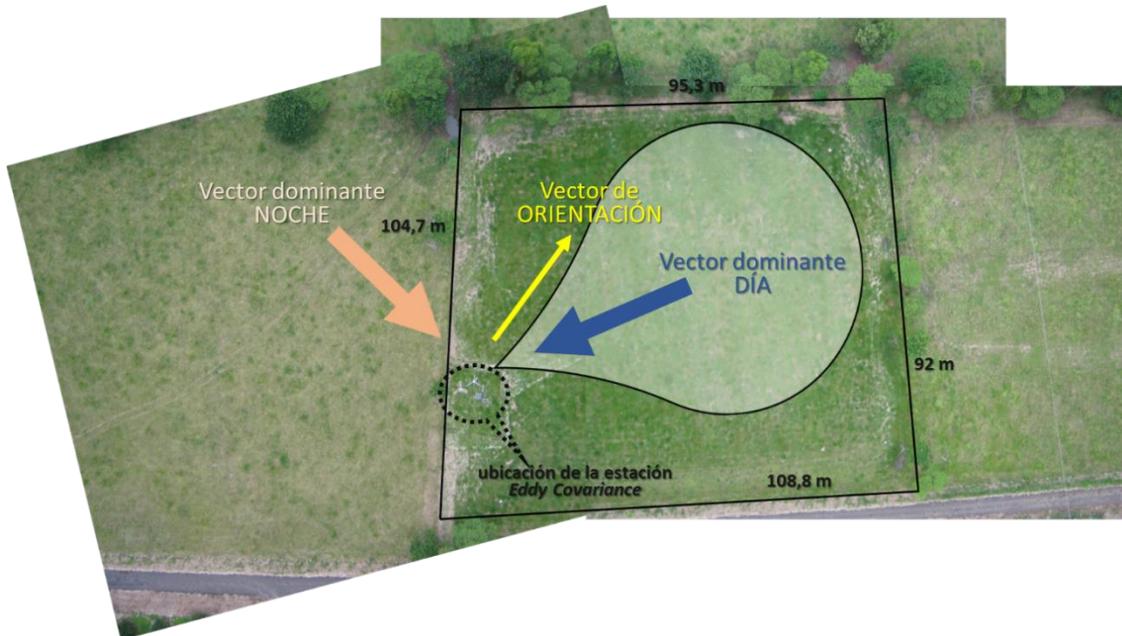
Figura 3-4. Análisis de velocidad ($m.s^{-1}$) y dirección del viento ($^{\circ}$), estación agrometeorológica La Libertad (1980-2012).



En la Figura 3-5 se aprecia como se fijaron los vectores dominantes de orientación de la torre EC, para las condiciones de estabilidad, velocidad y dirección del viento particulares del área de estudio. En este caso, hacia el este del lote seleccionado, para garantizar una correcta caracterización del sitio y definir de una mejor manera los criterios de aceptación necesarios para el análisis de los datos (Schuepp *et al.* 1990; Schmid 1994; Foken y Leclerc 2004). La huella de captura de información, establecida para las horas del día, aparece resaltada como el área sombreada; se analizó si los flujos de CO_2 medidos con la técnica, proceden del área representativa del ecosistema, y si sus dimensiones no superan la extensión de superficie homogénea que rodea la torre (*fetch*).

. En este caso, hacia el este del lote seleccionado, para garantizar una correcta caracterización del sitio y definir de una mejor manera los criterios de aceptación necesarios para el análisis de los datos (Schuepp *et al.* 1990; Schmid 1994; Foken y Leclerc 2004). La huella de captura de información, establecida para las horas del día, aparece resaltada como el área sombreada; se analizó si los flujos de CO₂ medidos con la técnica, proceden del área representativa del ecosistema, y si sus dimensiones no superan la extensión de superficie homogénea que rodea la torre (*fetch*).

Figura 3-5. Vectores de orientación de la torre *Eddy Covariance*.



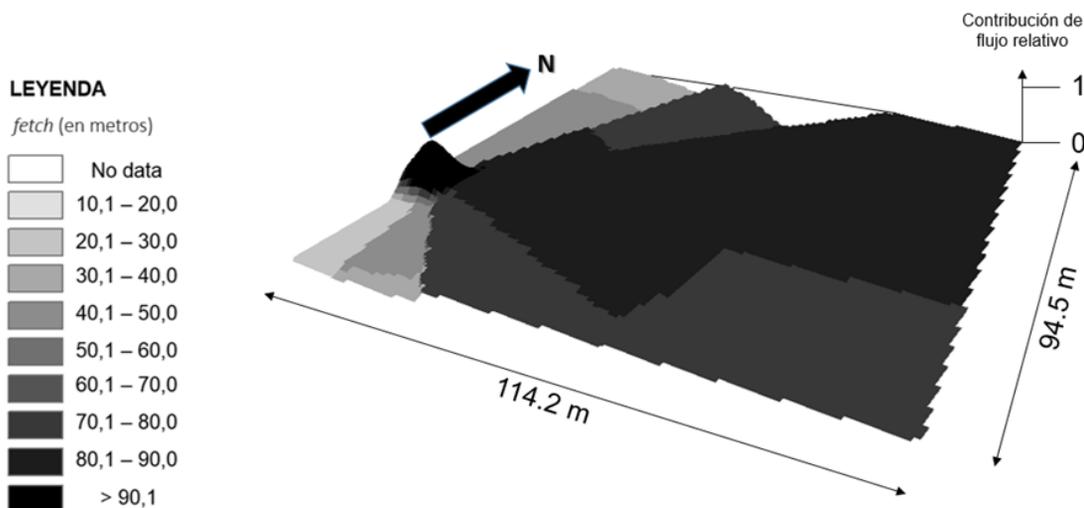
El análisis del área de medida o influencia (*footprint*) del sistema EC se presenta en la Tabla 3-1, donde se observa que las direcciones predominantes del viento corresponden a la orientación este a noroeste con una distancia establecida en el área de estudio, representativa del agroecosistema, que está por encima de 67,50 m, lo que garantiza una huella de captura del 90% del flujo procedente de la superficie homogénea limitada a 107,69 m, con una cobertura para el día y la noche que se visualiza para el lote en la Figura 3-6, a partir de las diferencias existentes y validadas en cuanto a los vectores dominantes del viento que se aprecian en la Figura 3-7. Estos resultados permiten establecer que la altura del sensor con una razón aproximada 1:20 para el *footprint*, es suficiente y acorde con lo demostrado por Heilman *et al.* (1989) quienes consideran que la relación de manejo convencional 1:100 (Verma, 1990) se puede considerar algo excesiva. De allí que, una

variación abrupta de la temperatura superficial, como propiedad, afecta el aire que la rodea, y por ende los flujos, hasta la altura de instalación propuesta para el sensor con una huella de captura alrededor del 80%. Los anteriores resultados señalan que establecer que el footprint como una medida de flujo turbulento, define el contexto espacial de la propia medida.

Tabla 3-1. Huella calculada (*fetch*) (m) del sistema *Eddy Covariance*.

CICLO	DIRECCION DEL VIENTO	ANGULO	DISTANCIA MINIMA	DISTANCIA MAXIMA	CRITERIO (Hsieh / Kljun) (m)									
					0,01%	0,10%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%
DIA	NNE	-	62,20	67,30	6,39	19,17	27,43	36,67	48,18	63,69	86,42	123,77	197,84	419,01
	NE	39,29	67,30	87,30	1,03	3,09	4,42	5,91	7,76	10,26	13,92	19,94	31,87	67,50
	ENE	54,59	87,30	113,76	1,18	3,53	5,06	6,76	8,88	11,74	15,93	22,81	36,47	77,23
	E	77,85	107,69	107,74	1,38	4,15	5,94	7,94	10,43	13,79	18,71	26,80	42,84	90,73
	ESE	100,31	84,34	118,66	1,86	5,58	7,98	10,67	14,02	18,53	25,14	36,01	57,55	121,89
	SE	124,31	45,88	84,34	2,66	7,98	11,42	15,26	20,05	26,51	35,97	51,52	82,35	174,40
	SSE	147,38	34,97	45,88	3,81	11,44	16,36	21,87	28,74	37,99	51,55	73,83	118,01	249,93
S	176,09	32,25	34,97	5,19	15,57	22,27	29,78	39,12	51,72	70,18	100,51	160,65	340,24	
NOCHE	NNE	-	62,20	67,30	1,85	5,55	7,94	10,61	13,94	18,43	25,01	35,81	57,24	121,24
	NE	37,99	67,30	87,30	1,20	3,61	5,17	6,91	9,08	12,01	16,29	23,33	37,29	78,98
	ENE	56,43	87,30	113,76	1,13	3,40	4,86	6,50	8,54	11,29	15,33	21,95	35,08	74,31
	E	80,15	107,69	107,74	1,17	3,52	5,03	6,73	8,84	11,68	15,85	22,70	36,29	76,85
	ESE	103,40	84,34	118,66	1,47	4,42	6,33	8,46	11,12	14,70	19,94	28,56	45,65	96,69
	SE	126,48	45,88	84,34	1,06	3,19	4,57	6,11	8,03	10,61	14,40	20,62	32,96	69,80
	SSE	145,91	34,97	45,88	1,20	3,60	5,15	6,88	9,04	11,96	16,22	23,24	37,14	78,66
S	177,31	32,25	34,97	1,22	3,65	5,23	6,99	9,18	12,14	16,47	23,59	37,71	79,87	

Figura 3-6. Area de influencia (*footprint*) del sistema *Eddy Covariance*.



(a) Día

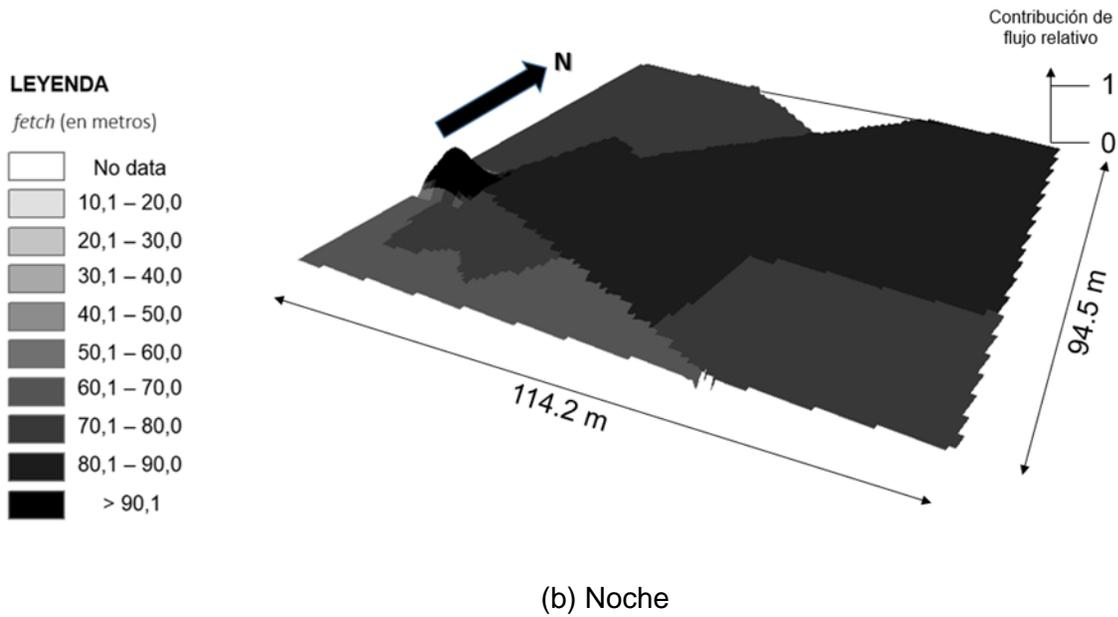
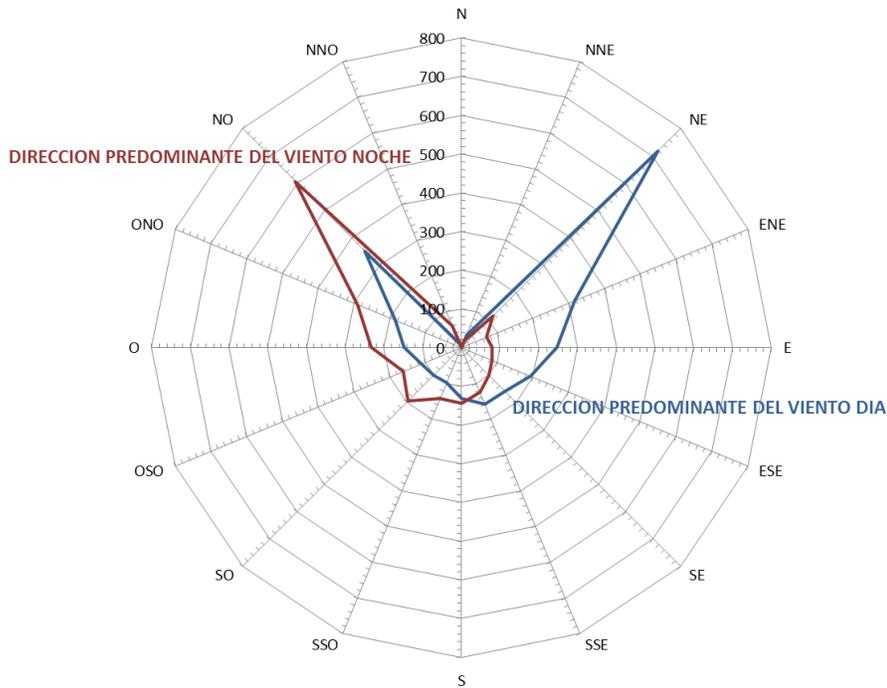


Figura 3-7. Dirección predominante del viento en el área de influencia del sistema *Eddy Covariance*.



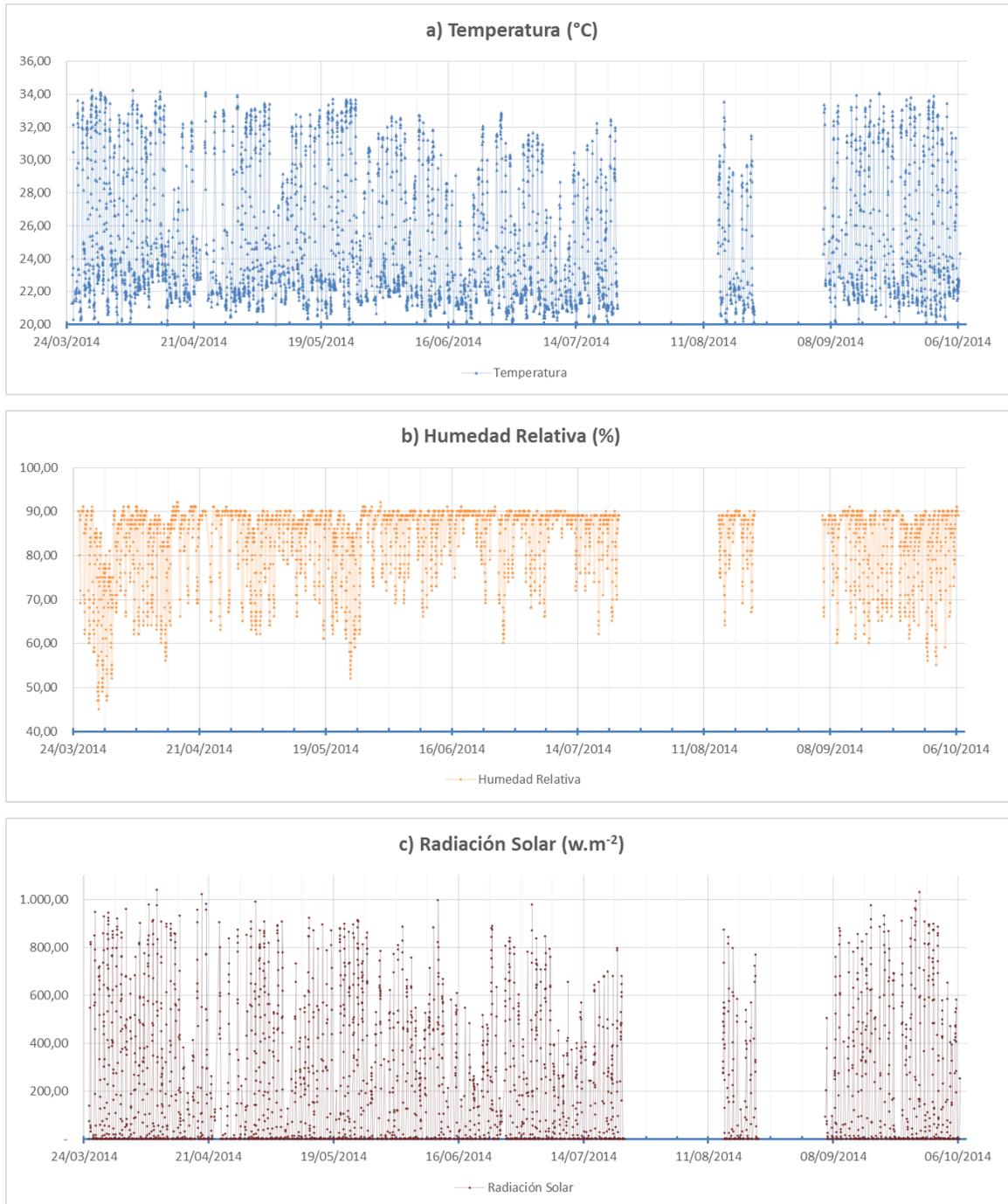
Con el proceso descrito, se evidencia que las mediciones en los agroecosistemas requieren ser diseñadas y adaptadas a las condiciones específicas del área a estudiar, y

que no pueden replicarse métodos estandarizados, sin realizar las modificaciones que demandan las condiciones biofísicas locales (Goodrich *et al.*, 2016; Eubinet *et al.*, 2012). La infraestructura de apoyo y la instrumentación, tienen que ser lo suficientemente robustas como para soportar los entornos esperados durante la vida útil de la instalación (Munger *et al.*, 2012) y el acceso a la instrumentación durante todo el año. En este caso, se presentaron temperaturas extremas, humedad relativa alta, variación diaria en la dirección y velocidad del viento, relámpagos, aves e insectos, los cuales constituyeron un desafío único, en la operación del sistema, la comprensión y el análisis de los datos, de manera similar a lo expuesto por Marín *et al.* (2017b), Munger *et al.* (2012), Muraoka y Koizumi (2009).

En el área de estudio se presentan interacciones entre los bovinos, la pastura y el hombre, que modifican e influyen las capas bajas de la tropósfera (Stull, 1988), dentro de la cual el viento (fenómenos de fricción), la radiación (transporte de calor), la fotosíntesis y la respiración, modifican los flujos de momento, calor y CO₂, a través de la turbulencia, y su relación con otras condiciones climáticas (tales como temperatura y humedad relativa, entre otras) propias del sitio donde se desarrolló el experimento y que lo caracterizan como sistema abierto. En pasturas se reporta la importancia de las condiciones del entorno en términos de la variación diaria y las épocas del año, cuando se va a estudiar el flujo de CO₂ (Serrano *et al.*, 2010; Zermeño *et al.*, 2011).

En la Figura 3-8, se presenta la variación cada media hora del comportamiento de las series de tiempo para las variables climáticas temperatura (a), humedad relativa (b), radiación solar (c) y velocidad del viento (d). En la Tabla 3-2 se puede observar que para los valores promedios, se presentó una alta variabilidad en la media horaria, lo cual justificó para el análisis, primero, el tratamiento estadístico con medianas para los datos cada Hz, estadígrafo menos susceptible a valores extremos que la media aritmética cuando la población es heterogénea como en este caso; segundo, el análisis de medias horas durante el ciclo día-noche, debido a la variabilidad que se presenta en el transcurso de las 24 horas del día; y tercero, la necesidad de trabajar las series de tiempo a partir de su característica no lineal para aspectos relacionados con la modelación a través del tiempo.

Figura 3-8. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura (a), humedad relativa (b), radiación solar (c) y velocidad del viento (d) durante los 161 días de la fase experimental.



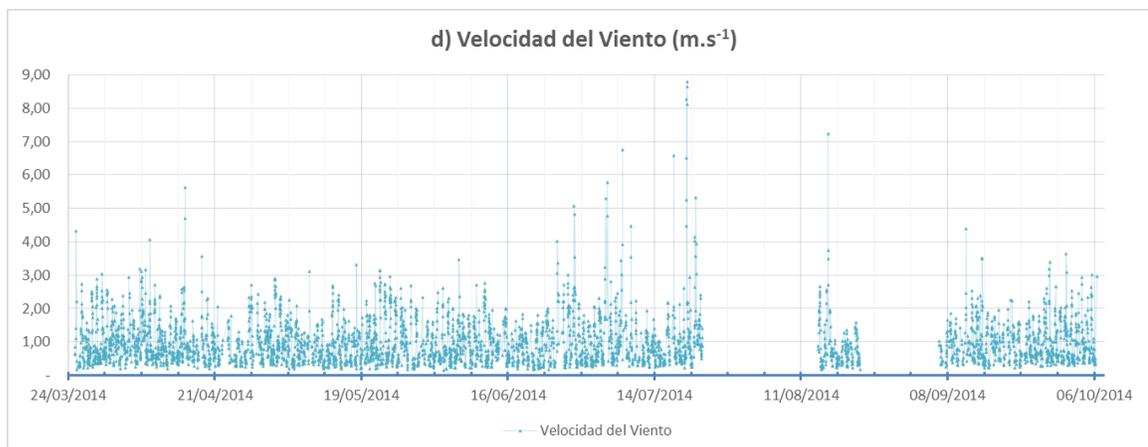


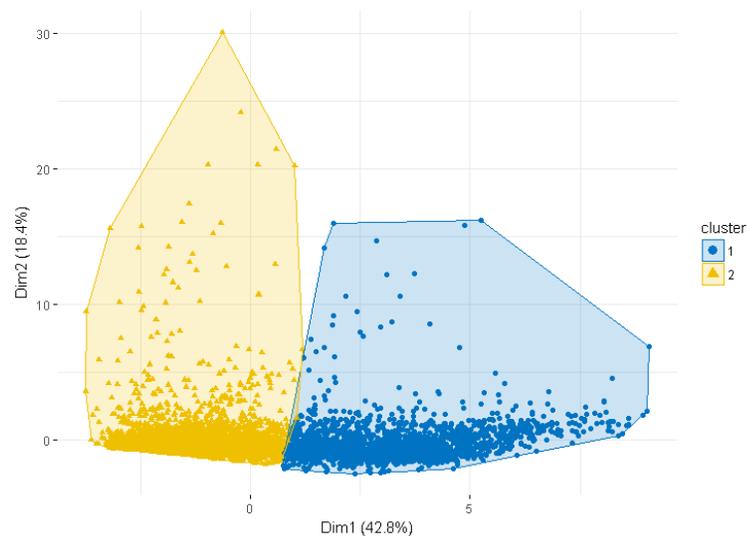
Tabla 3-2. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento durante los 161 días de la fase experimental.

Variables	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación Solar (w.m ⁻²)	Velocidad del Viento (m.s ⁻¹)
Mínimo	18,97	45,00	0,00	0,01
Máximo	34,25	92,00	1111,00	16,97
Promedio	26,15	81,79	260,53	1,05
Desv. Estandar	4,02	8,88	284,26	0,63

El análisis de cluster efectuado sobre la serie temporal de las condiciones propias del entorno productivo del agroecosistema, involucró las variables velocidad del viento en los 3 ejes, dominancia del viento, temperatura, humedad relativa y precipitación, encontrando que la información era agrupada en dos cluster, como aparece en la Figura 3-9.

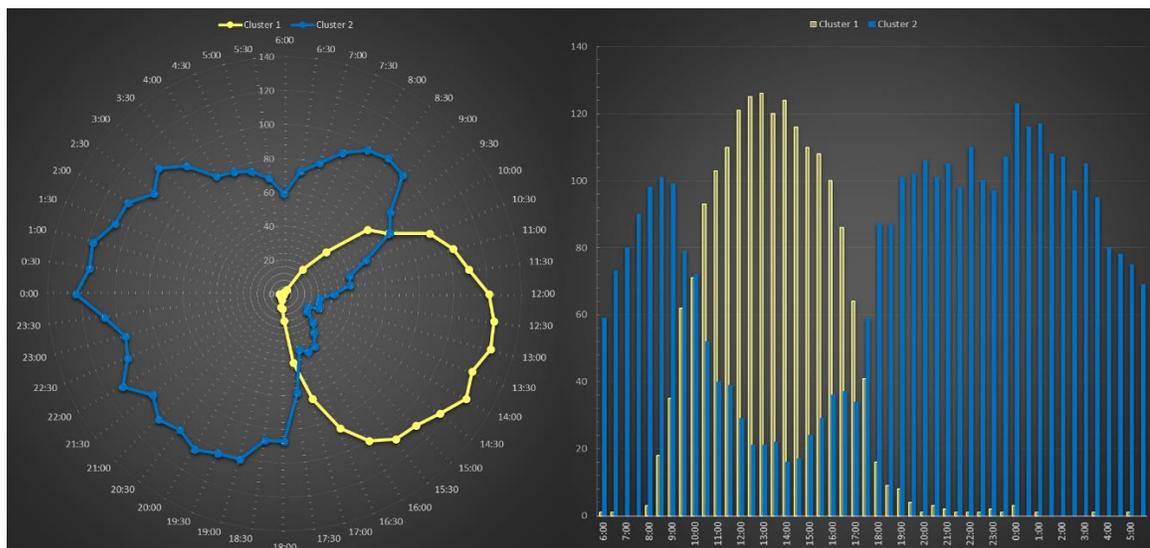
Figura 3-9. Análisis de Cluster para las condiciones biofísicas/ambientales del agroecosistema ganadero en estudio.

VARIABLE	Cluster 1	Cluster 2
n	1793	3598
Concentración de CO ₂ (ppm)	360,41	383,78
Temperatura (°C)	30,83	25,25
Velocidad Vertical (ms-1)	0,01	-0,01
Velocidad de Viento (ms-1)	1,32	0,88
Humedad Relativa (%)	74,00	88,00
Precipitación (mm)	0,88	7,35



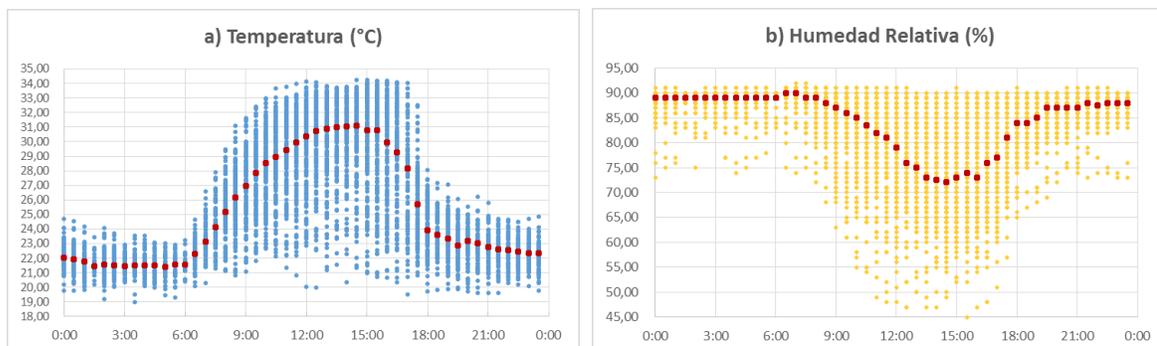
Los dos grupos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para todas las variables introducidas (se incluyó en el análisis la variable concentración de CO₂); siendo importante señalar, como se aprecia en la Figura 3-10, que los grupos claramente son definidos a partir de los datos de las variables para el ciclo día-noche. El cluster 1 presenta el 97,77 % de los datos en la fase diurna y tan sólo el 2,33 % en la fase nocturna; caso contrario para el caso del cluster 2, donde el 65,12 % de los datos se encuentran en la fase nocturna y el 34,88 % corresponden a la fase diurna. Esta diferenciación en cuanto al ciclo día-noche, determinó la necesidad de hacer el análisis diario (por 24 hrs) de la información.

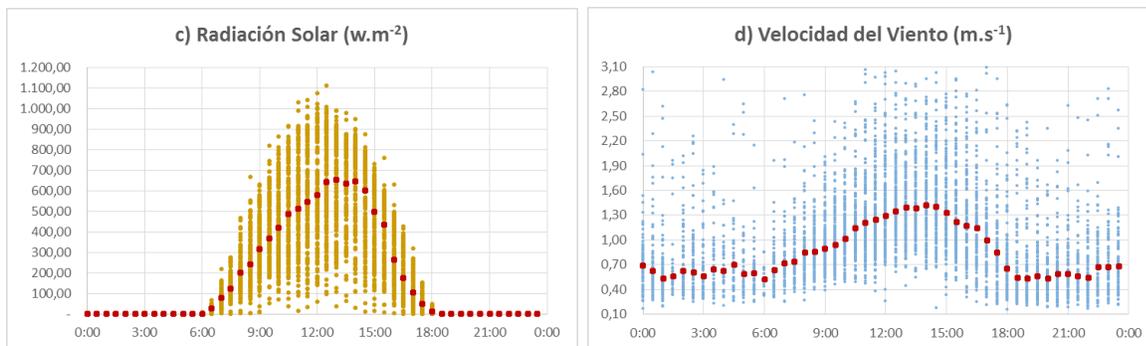
Figura 3-10. Comportamiento de los cluster para las condiciones biofísicas/ambientales del agroecosistema ganadero en estudio.



Existen correlaciones altamente significativas ($p < 0.0001$) e inversas entre la humedad relativa con la temperatura (-0,82) y la radiación solar (-0,63); positiva entre la temperatura y la radiación solar (0,85); y directa moderada con valores de 0,35 y 0,45 entre la velocidad del viento con la temperatura y la humedad relativa, respectivamente, son explicadas a partir de la variabilidad en su comportamiento micrometeorológico en el ciclo día-noche, como se aprecia en la Figura 3-11 (ver literal 3.4).

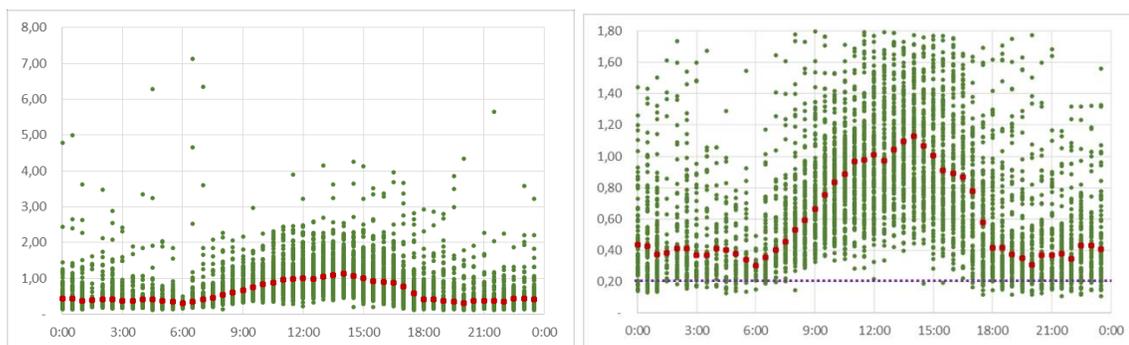
Figura 3-11. Variabilidad de la media horaria para las variables climáticas temperatura (a), humedad relativa (b), radiación solar (c) y velocidad del viento (d) durante las 24 horas del día.



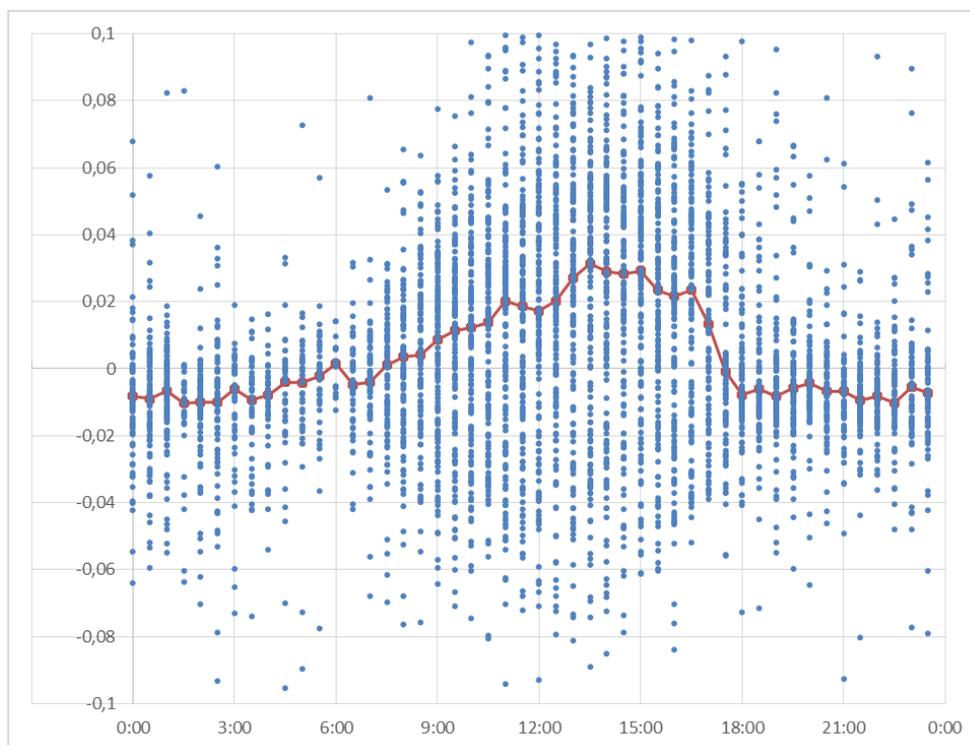


Entre las 6:00 y las 18:00 hrs, la radiación solar incidente es absorbida por la superficie terrestre que, al calentarse, induce la generación de la turbulencia (térmica o mecánica), la cual transporta masa (flujo de CO_2) y energía (calor sensible y calor latente); la descripción de la turbulencia se hace a partir de la intensidad (velocidad de fricción), el tamaño y frecuencia de los remolinos, y la magnitud turbulenta (Monin-Obukhov).

Según Ortiz (2016), cuando la turbulencia es generada o afectada por vientos cercanos al suelo, la velocidad de fricción del viento se hace importante. Como se aprecia en la Figura 3-12, la velocidad de fricción oscila entre 0,30 y 7,13 $m.s^{-1}$ con un promedio de $0,81 \pm 0,57 m.s^{-1}$; fuerte variación diaria que es característico en su comportamiento (Marrero, 2011) y que durante las horas de sol presenta su mayor valor, siendo para este caso las 14:00 hrs, que de acuerdo con los resultados reportados por Roque (2015) y Serrano (2008), esta condición, análoga a la temperatura del aire al desplazar el valor pico del medio día, mejora la mezcla de las capas de aire adyacentes. Para el agroecosistema en estudio, velocidades de fricción por debajo del límite ($U^* = 0,2 m.s^{-1}$), las cuales se presentan en la noche y/o con condiciones de estabilidad atmosférica como se visualiza en la Figura 3-12, hace que los intercambios de CO_2 que se producen entre la superficie y la atmósfera no alcancen los instrumentos de medida, lo que genera valores de covarianzas de los flujos que no corresponden y deben ser estimados.

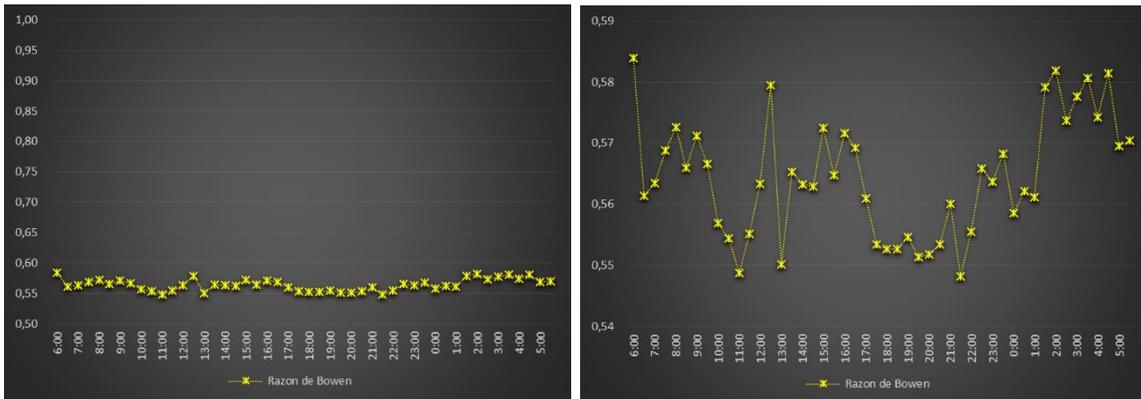
Figura 3-12. Variación de la media horaria de la velocidad de fricción del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

La descripción cualitativa de la turbulencia se hace a partir de los remolinos, que como se presenta en la Figura 3-13, tiene una asociación directa con el comportamiento de la radiación solar al ser la responsable por generar la turbulencia de carácter térmico durante las horas de sol (Marrero, 2011); lo que se traduce en un proceso dinámico de mayor frecuencia y tamaño de los remolinos, proporcional a la energía de los mismos y a medida que se asciende en altura.

Figura 3-13. Variación de la media horaria de la cantidad y tamaño (m) de los remolinos.

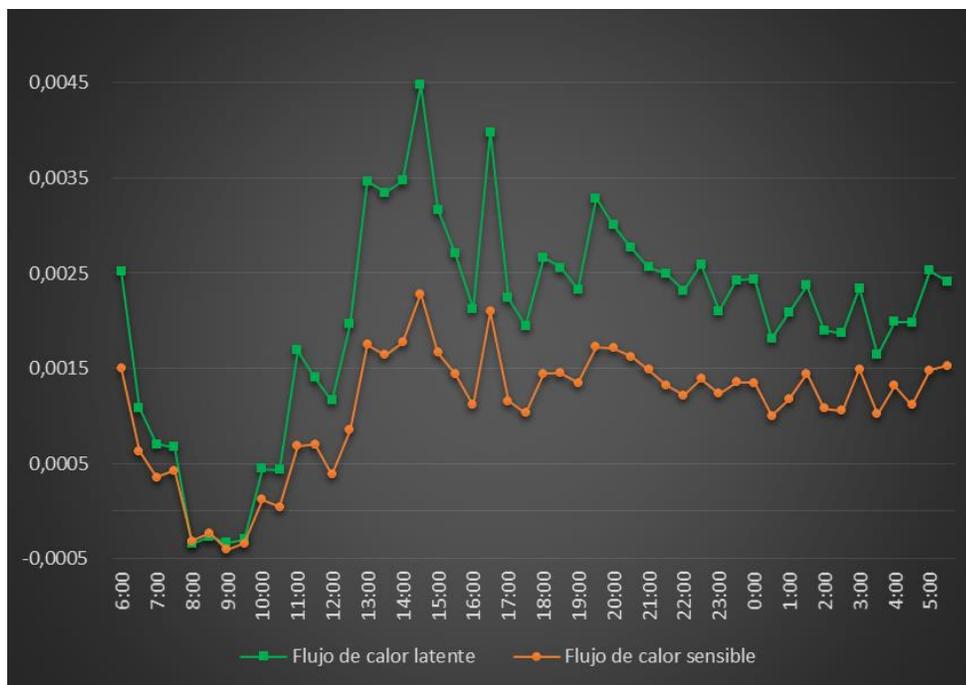
La radiación solar hace que exista transferencia de energía entre la atmósfera y el suelo debido al gradiente de temperatura (calor sensible) y las variaciones en la humedad (Arya, 1988). La transferencia y los gradientes permiten establecer, para todo el periodo de análisis, un comportamiento homogéneo en cuanto a la relación existente entre la pérdida de calor por conducción y turbulencia, y la pérdida de calor debida a la evaporación (razón de Bowen) como se muestra en la Figura 3-14; el análisis del β permite inferir que se trata de un agroecosistema húmedo ($\beta' < 1$) con pasturas ($\beta \approx 0,5$), donde existe mayores niveles de energía para la evaporación, al contar con una mayor proporción de energía disponible en la superficie que pasa a la atmósfera por condensación de vapor de agua (calor latente) (Meruane, 2005), como se muestra en la Figura 3-15.

Figura 3-14. Variación de la media horaria de la razón de Bowen.



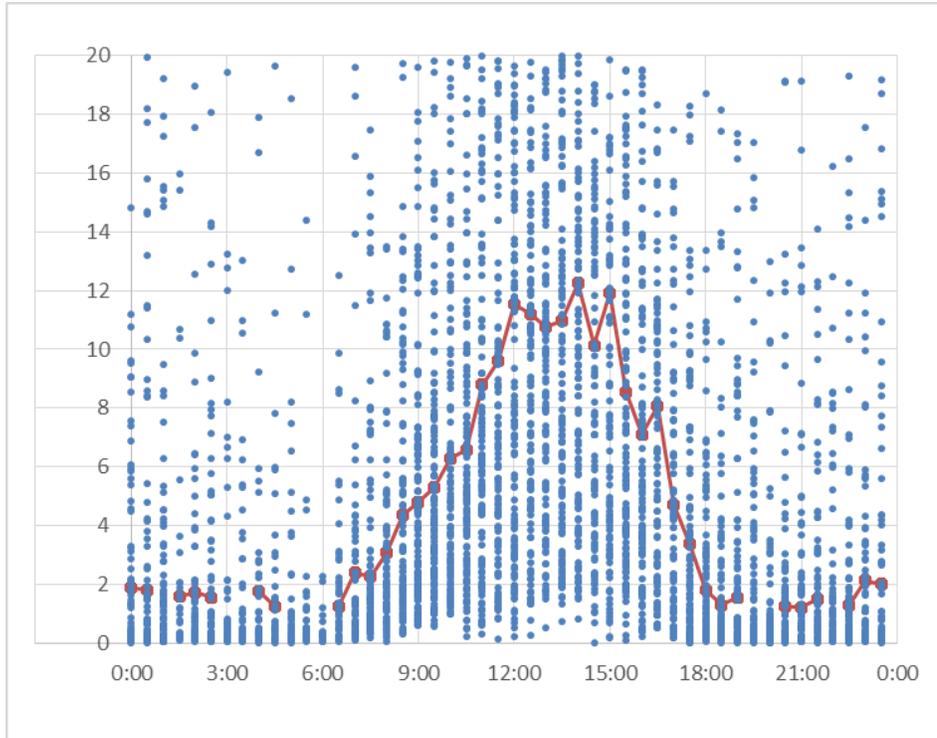
En la Figura 3-15 se observa como el cambio de energía incrementa las termales por tener menor densidad (flotabilidad de la burbuja de transporte) entre las 9:00 y las 14:00 hrs lo que se deriva en turbulencia de tipo térmico; calentamiento de la superficie que genera flujos de calor sensible positivos, los cuales disminuyen después de esa hora y tiende a generar condiciones estables de la atmósfera en la noche por ausencia de la radiación solar y el enfriamiento radiativo de la superficie terrestre hasta disminuir dramáticamente, entre las 6:00 y las 9:00 hrs (Aubinet et al., 2000; Jimenez, 2013). Por lo expuesto, es poco probable encontrar que los flujos diurnos de CO_2 presenten los mismos problemas que los nocturnos.

Figura 3-15. Variación de la media horaria del flujo de calor sensible ($w.m^{-2}$) y flujo de calor latente ($w.m^{-2}$).



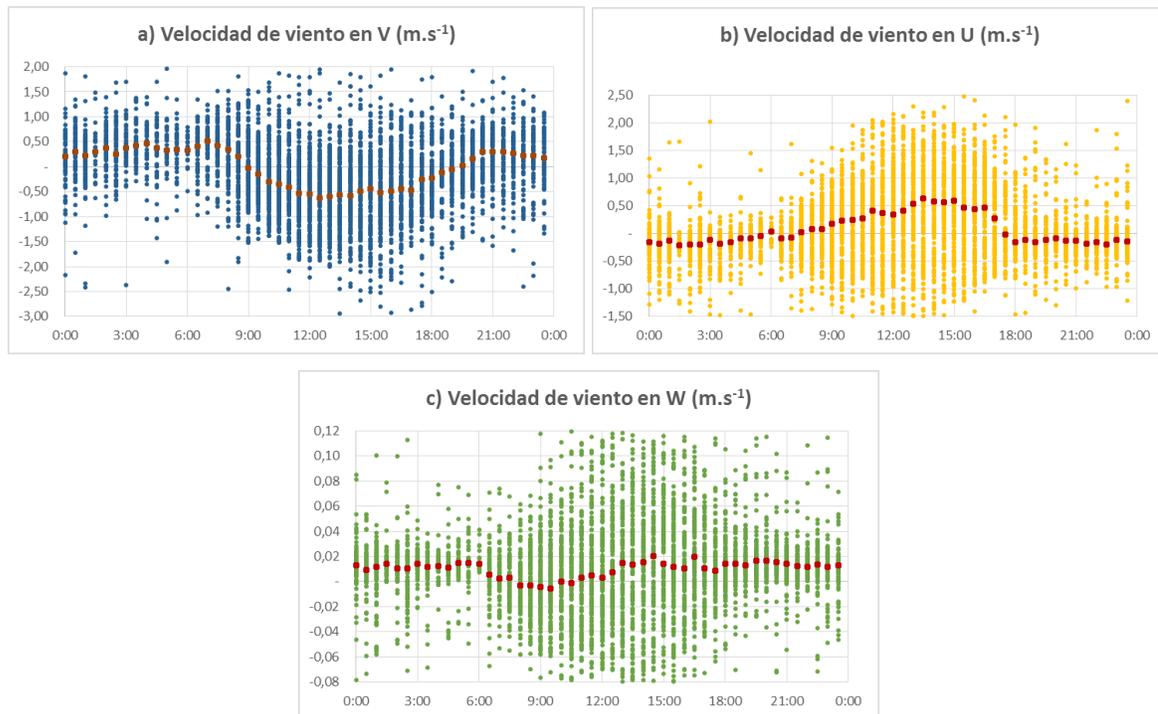
En capas próximas a la superficie, la cizalla es el fenómeno predominante y responsable de la producción mecánica de turbulencia; a partir de la interpretación física de la longitud de Obukhov, como se presenta en la Figura 3-16, se resaltan las medias horarias donde la cizalladura del viento es la principal responsable de la turbulencia, derivada de los cambios de magnitud y dirección del viento en el comportamiento de la capa superficial atmosférica. Marrero (2011) señala que la variación diaria durante las horas de sol, se caracteriza por una gran cizalla de viento con turbulencia de carácter térmico y mecánico, mientras que, en la noche, la capa superficial atmosférica se caracteriza por una fuerte estabilidad que impide los movimientos verticales de las partículas de aire mostrando generalmente turbulencia de carácter mecánico exclusivamente.

Figura 3-16. Variación de la media horaria de la interpretación física de la longitud de Obukhov (m).



En la Figura 3-17, se presenta el comportamiento diario del viento sobre los 3 planos; a pesar de la alta variabilidad diaria con un promedio estimado en $1,13 \pm 0,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y valores mínimo y máximo de 0 y $5,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente, en la escala de Beaufort, la característica para la estimación se establece entre calma y brisa débil, donde predomina la ventolina. Lo anterior señala que para el agroecosistema bajo estudio, el viento es un factor crítico para la implementación de la técnica EC, ya que si la turbulencia mecánica depende del viento para el día y la noche, y la velocidad del viento es muy baja con cambios frecuentes en la dirección, la cizalladura no será suficiente para establecer el transporte de la masa. Como se aprecia en la Figura 3-17, durante la fase diurna se presenta una alta variabilidad en cuanto a la dirección del viento; cambios frecuentes que hacen que el uso de la técnica EC, al integrar en el análisis animales en pastoreo, sea más complejo porque capturar información donde coincidan los animales con la dirección del flujo bajo el modelo experimental propuesto, se vuelve un aspecto relevante al intentar garantizar series de tiempo consistentes y válidas que geranticen algún tipo de análisis confiable.

Figura 3-17. Variabilidad de la media horaria para la velocidad del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en los componentes meridional (a), zonal (b) y vertical (c).



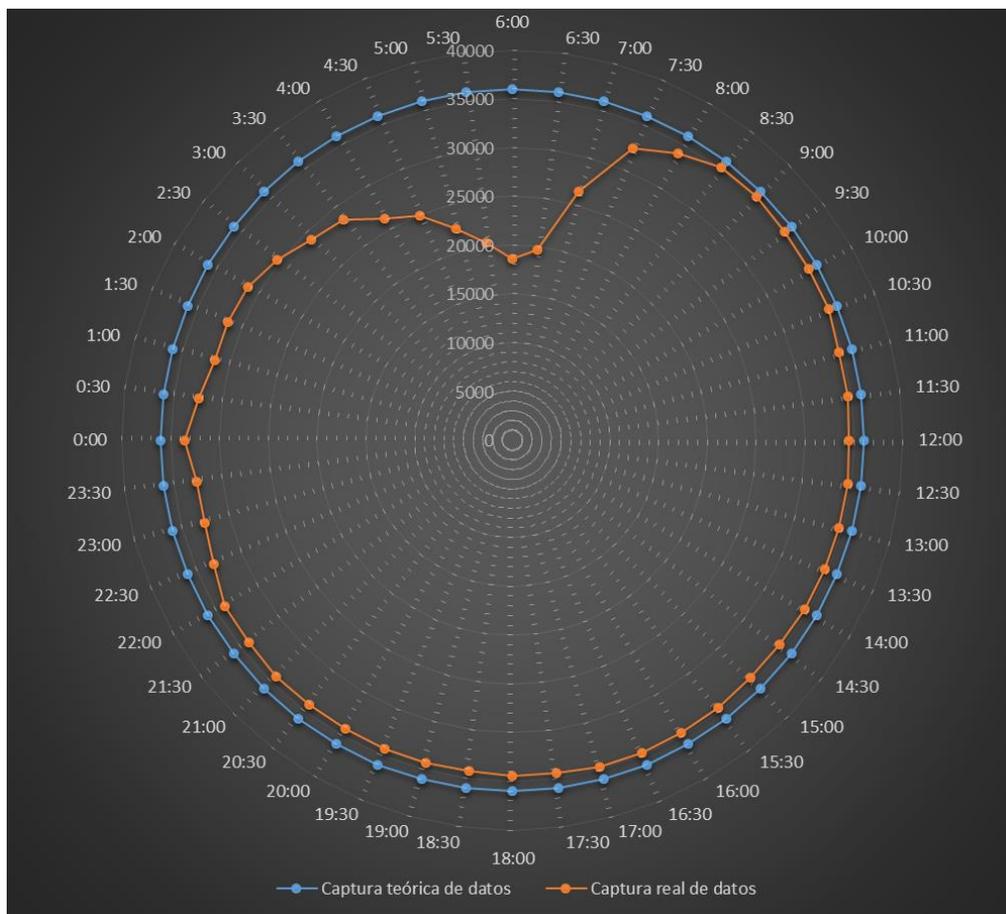
En el agroecosistema ganadero bajo estudio, se presentan fenómenos de turbulencia térmica y mecánica como mecanismo de transporte en la capa límite, lo que permite a la técnica EC capturar y medir la densidad de CO_2 en el aire, como magnitud escalar, y a la velocidad y dirección del viento, como magnitud vectorial, estimar la densidad del flujo de masa.

Suponiendo una mezcla turbulenta perfecta, la medición se integró durante períodos de media hora, construyendo una base de datos para calcular los flujos de CO_2 ; la selección del equipo para la colecta de datos no afecta directamente la calidad, en tanto que la configuración del hardware sea lo suficientemente confiable para reducir la pérdida de datos, la resolución de captura permita establecer las fluctuaciones de señal relevantes, y la frecuencia de muestreo sea la pertinente para las características del sitio (Goulden *et al.*, 1996; Munger y Loescher, 2010).

La eficiencia en la captura de datos por parte de la torre EC se establece a partir de factores de tipo ambiental (físicos) que inciden en la turbulencia, y del equipo que afectan su

funcionamiento; la falta de turbulencia nocturna derivada del comportamiento de los vientos y el consumo eléctrico por tratarse de una torre que funciona con energía solar, hace que en las horas de la noche y la madrugada, la torre no sólo no capture la cantidad de datos esperado, sino que además, capture una menor cantidad de datos como se puede observar en la Figura 3-18, cuya probabilidad de que sean de mala calidad es alta; sin embargo, existen otros factores que pueden alterar la captura de datos, no siendo necesariamente derivados de la presencia de agentes externos (animales) en el rango de captura de la torre (Prajapati et al, 2017; Bai et al 2015; Sun et al, 2015).

Figura 3-18. Captura global media horaria de datos de la torre *Eddy Covariance*.

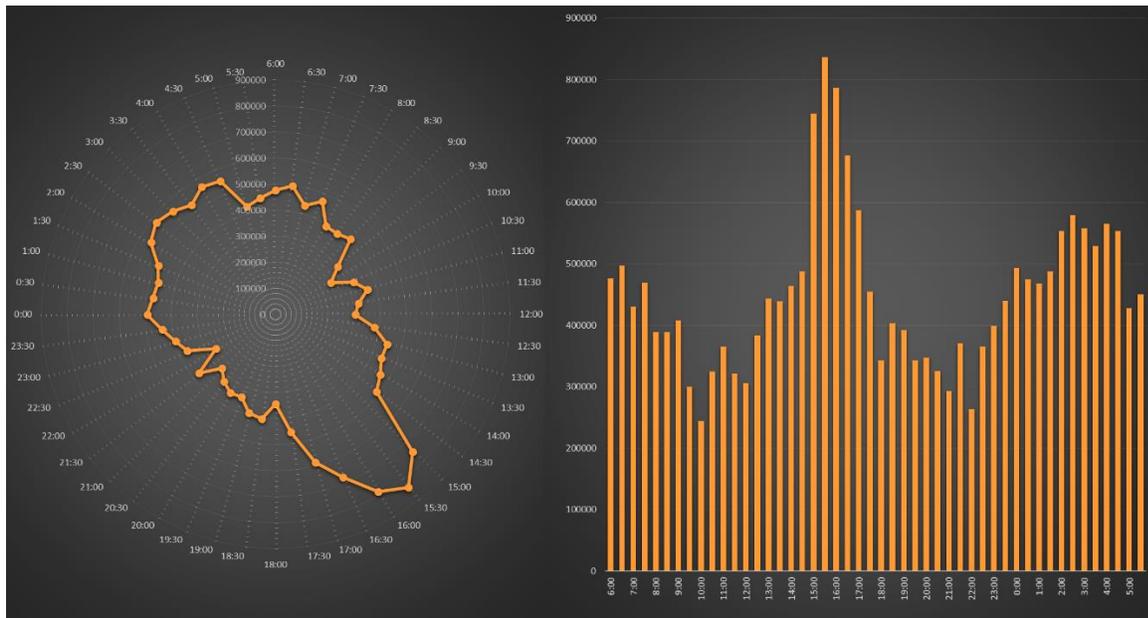
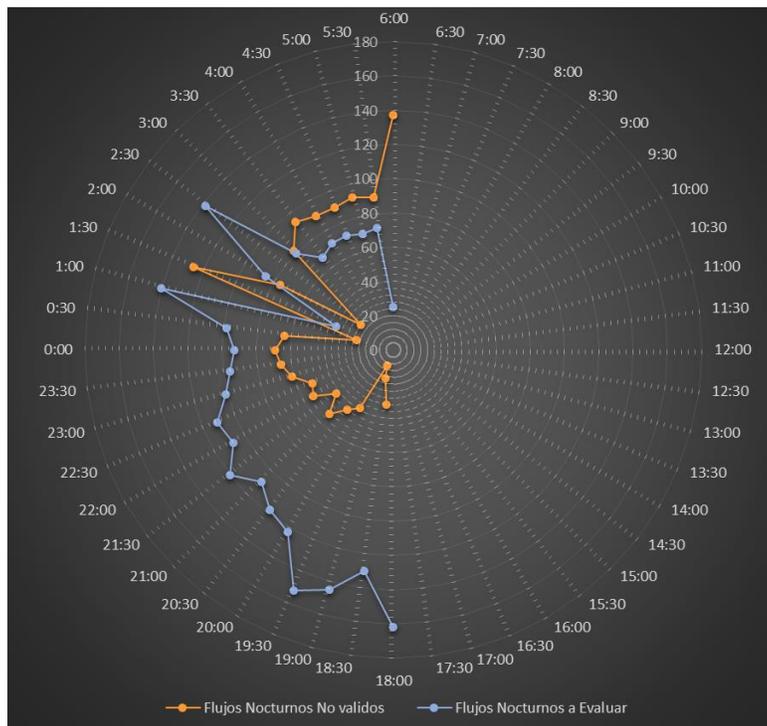


La captura esperada es significativamente diferentes ($p < 0,05$) a la captura real; en la Figura 3-18, se muestra el porcentaje de captura teórico representado por la línea azul, mientras que la roja muestra la cantidad real de captura. La diferencia entre los datos

esperados y los datos realmente capturados, muestran como disminuyen sus valores desde la 1:30 hrs hasta alcanzar la mínima captura a las 6:00 hrs y a partir de la cual, se alcanza nuevamente un nivel cercano al deseado de captura hacia las 8:30 hrs; este comportamiento coincide con el descrito por Aubinet *et al.* (2012), cuando señala que el comportamiento de una estación EC durante la madrugada, está afectado por la falta de energía, problemas de instrumentación y el efecto nocturno de la ausencia de turbulencia que se mencionó anteriormente.

Uno de los aspectos considerado como problema de la técnica EC es que depende de ciertas condiciones teóricas difíciles de cumplir en determinados lugares, lo que reduce la calidad de las mediciones; las más importantes son las adecuadas condiciones turbulentas, la media de la velocidad vertical del viento igual a cero, la fuerza de arrastre, el calentamiento de la superficie, la estacionariedad de los datos medidos y la no advección horizontal durante el periodo de medición (Foken y Wichura, 1996; Munger y Loescher, 2010). Para enfrentar estos inconvenientes, se implementaron criterios para filtrar aquellos datos que no cumplían con las condiciones mencionadas, y una serie de correcciones a éstos para perfeccionar o mejorar la calidad de las mediciones (Falge *et al.*, 2001; Gu *et al.*, 2005; Ruppert *et al.*, 2006; Borja 2008).

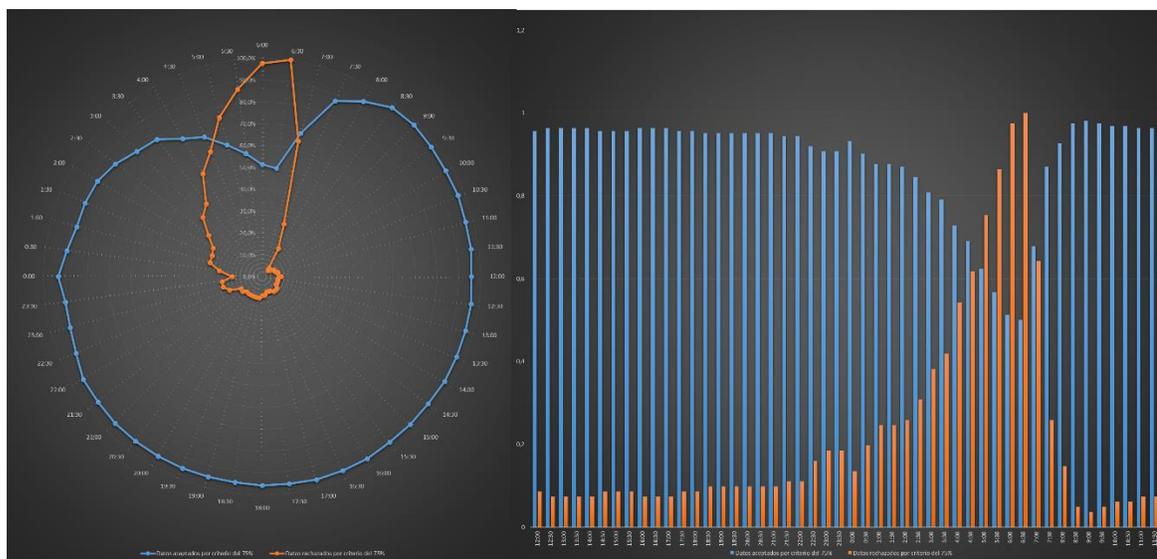
Se presentaron datos anómalos sobre la captura que fueron eliminados por problemas de funcionamiento de los sensores, principalmente por fallos eléctricos; problemas de resolución y captura; o por valores reportados de comportamiento considerados como no plausible (físicos). A partir de los datos tomados como referencia para las variables temperatura (19,1 a 35,7 °C), velocidad del viento (0 a 7 m.s⁻¹) y punto de rocío (15,9 a 26,5 °C) provenientes de la estación Davis Advantage Pro 2, se eliminaron datos por límites absolutos (Figura 3-19), en los cuales se puede observar la existencia de picos de datos no plausibles con valores máximos en un pico diurno entre las 15:00 a 16:00 hrs (línea naranja). De igual manera, se eliminaron valores nocturnos que correspondían a valores de concentración de CO₂ y condiciones de flujo teóricamente no posibles (Figura 3-20).

Figura 3-19. Cantidad de datos eliminados por límites absolutos.**Figura 3-20.** Cantidad de datos eliminados por valores no posibles.

Conjuntos de datos (agrupamientos o *bins*), cuya captura real se encontró por debajo del 25 % de la captura esperada para la media horaria de una fecha en cuestión (criterio del

75 %), cuando el sistema EC no funcionaba correctamente debido a problemas de instrumentación o condiciones meteorológicas adversas (Serrano, 2008). La Figura 3-21, permite observar cómo se elimina data (líneas de color naranja) de manera creciente a partir de las 21:00 hrs hasta obtener picos a las 6:30 hrs.

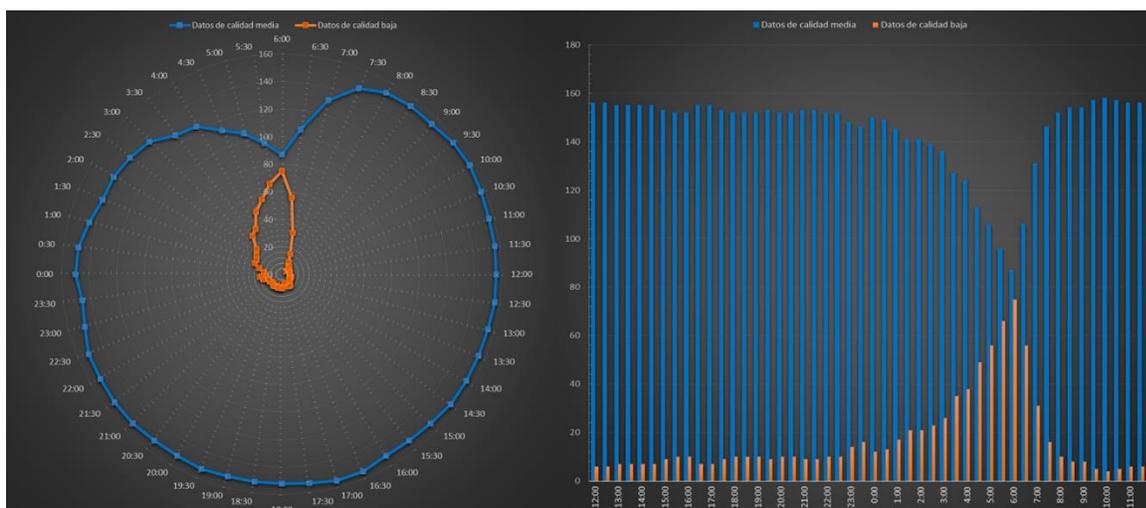
Figura 3-21. Cantidad de datos eliminados por captura de información (Criterio del 75%).



La calidad de los datos medidos a través de la técnica EC, no sólo es influenciada por los requerimientos teóricos mencionados, sino también por problemas instrumentales y meteorológicos; es posible verificar la calidad de los datos asignando una etiqueta, resultado de dos pruebas, la de condiciones turbulentas y la de estacionariedad de los datos (Foken y Wichura, 1996; Foken *et al.*, 2004). Aunque los errores causados por los instrumentos de medición se presentan en mayor frecuencia en los climas fríos (Burba *et al.*, 2008); el hecho de utilizar un analizador abierto, implica que su operación puede fallar cuando las ventanas del sensor se encuentran húmedas y no se recomienda como el único instrumento para mediciones de flujos de CO₂ a largo plazo, pero es ideal, por su bajo requerimiento de energía, al eliminar la necesidad de bombas y controles de clima de los sistemas cerrados. Los errores también pueden ser causados por la diferencia de temperatura entre la superficie del instrumento y el ambiente (Jarvi *et al.*, 2009), que en la noche es debido al cambio de temperatura y la pérdida de energía solar de la torre, o durante el día, puede ser causado por temperaturas mayores a los 30°C, como las que se presentan en este agroecosistema (Burba y Anderson, 2010).

Analizar la calidad de los datos a partir de la turbulencia, es comprender que, de todas las limitaciones conocidas, la más relevante es que no se cumpla la condición de atmósfera turbulenta, principalmente durante la noche (Foken *et al.*, 2004; Goulden *et al.*, 1996; Ruppert *et al.*, 2006). La prueba de turbulencia reporta la no existencia de datos de alta calidad, como se aprecia en la Figura 3-22, sólo se presentan datos de calidad media o aceptables (línea azul) y baja o no trabajables (línea naranja), lo que señala, a partir de los valores pequeños en cuanto a la velocidad de fricción, la poca o falta de turbulencia, la cual se manifiesta por la marcada ausencia en la noche y madrugadas, con un pico de ausencia a las 6:00 hrs.

Figura 3-22. Evaluación por turbulencia para la concentración de CO₂.

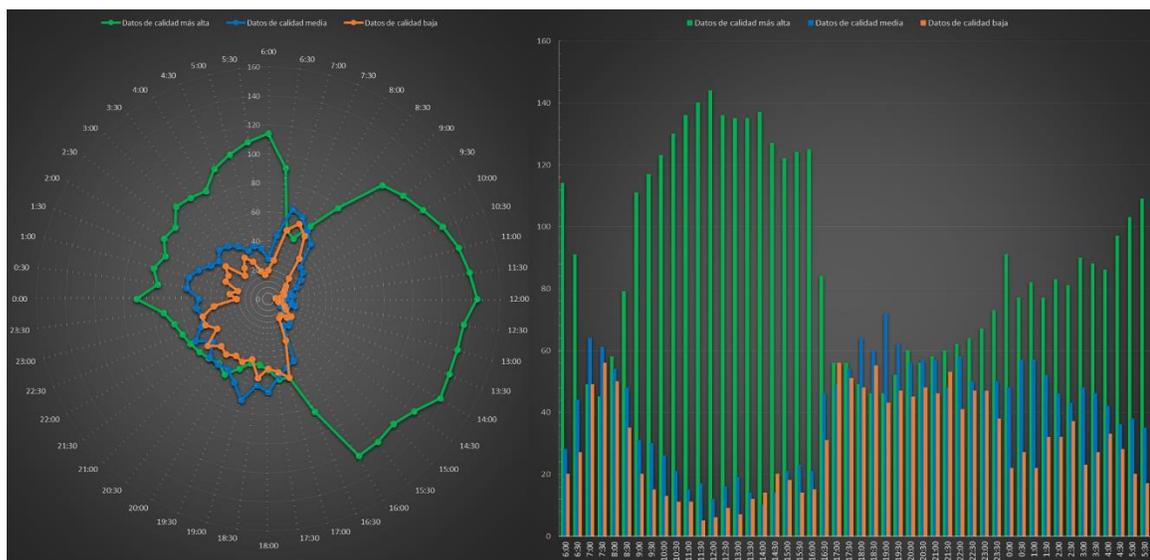


Los valores encontrados indican que la turbulencia vertical no es la ruta de transporte dominante y que los flujos medidos en esta condición de poca turbulencia, tienden a subestimar el flujo; son por lo tanto no recomendables para determinar el Intercambio Neto del Ecosistema (NEE), lo que pueden introducir potenciales errores en la estimación final del balance de carbono, por posibles subestimaciones de CO₂ como fue observado por Aubinet *et al.* (2012), Munger y Loescher (2010) y Yi *et al.* (2008).

La Figura 3-23 presenta el resultado de la prueba de estacionariedad, en la cual, a diferencia de la prueba de turbulencia, se presentan datos de calidad alta (línea verde), media o aceptable (línea azul) y baja o no trabajables (línea naranja) asociados al ciclo

día-noche, donde durante el día, se presentan la mayoría de datos de alta calidad por sus propiedades estadísticas, opuesto a la baja calidad que se presenta en las noches. Según Borja (2008), las series con no estacionariedad, sobre todo como se observa en los datos nocturnos y muy de mañana, se asocian frecuentemente con flujos débiles a gran escala o con importantes variaciones mesoescálicas como pueden ser variaciones en los componentes horizontales del viento; lo anterior provoca grandes variaciones en las componentes horizontales del viento, que se traduce en diferencias entre la velocidad promedio de las componentes del viento y los calculados con la velocidad del viento promedio.

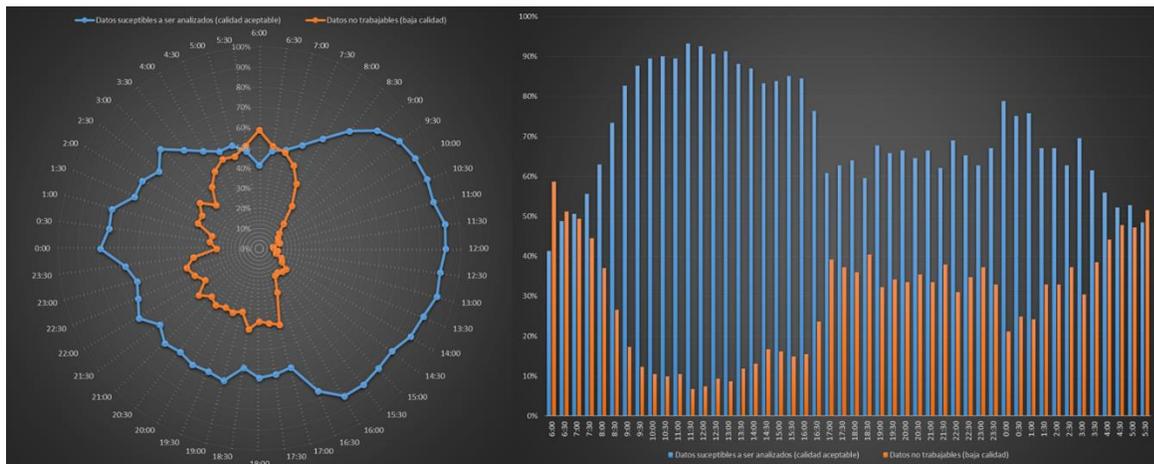
Figura 3-23. Evaluación por estacionareidad para la concentración de CO₂.



La Figura 3-24 muestra la distribución de la calidad de los datos, a partir de la estacionareidad y la turbulencia. De acuerdo con la evaluación correspondiente, de conformidad con los criterios propuestos por Foken (2004), se evidencia la ausencia de datos de excelente calidad; la mayoría de datos son considerados como aceptables o de calidad media (línea azul), donde se observa la relación ente los flujos nocturnos de CO₂ y la turbulencia, asociado a la calidad de la información. Lo anterior establece, que las condiciones de análisis se encuentran entre las 8:00 y las 16:30 hrs; con detrimento en la calidad de los datos debido a la turbulencia y las propiedades estadísticas, desde las 17:00 hasta las 5:00 hrs, con una pérdida de datos y calidad considerados como datos de baja

calidad o no trabajables (línea naranja), con valores importantes entre las 5:30 y 6:30 hrs, derivado del suministro eléctrico y el contexto físico. El análisis encontró que los resultados para condiciones de estabilidad atmosférica nocturna, con muy baja turbulencia, coinciden con una parte del análisis realizado por Franssen et al. (2010), relacionando esta falta de cierre a la estabilidad atmosférica nocturna originada por la baja turbulencia inducida mecánicamente (es decir, por viento). El problema del cierre de energía cambia durante el día, ya que la turbulencia puede generarse termal o mecánicamente, estando dentro de los valores aceptados para la metodología EC.

Figura 3-24. Evaluación integrada de calidad por turbulencia y estacionariedad para la concentración de CO₂.



La Tabla 3-3 presenta el análisis de contingencia que muestra la clasificación de acuerdo con los criterios de estacionariedad (estado estable) y turbulencia en función del ciclo día-noche, en la cual se evidencia la mayor y mejor captura de datos durante el día; debido a la ausencia de datos alta calidad, la tabla corresponde a una de contingencia de 2x2, sobre la cual se detectó el grado de dependencia entre la calidad de los datos y la jornada de medición.

Tabla 3-3. Tabla de contingencia de datos clasificados de acuerdo con los criterios de estacionareidad y turbulencia.

Factor	Datos de calidad aceptable	Datos de datos baja	TOTAL
Día	39,10	10,97	50,07
Noche	31,73	18,20	49,93
TOTAL	70,83	29,17	100,00

A partir de la tabla de contingencia anterior que evalúa la dependencia de las variables, no es posible negar la relación existente entre los datos de aceptable calidad con el día y de baja calidad con la noche. Aubinet *et al.* (2000); Goulden *et al.* (1996); Gu *et al.* (2005) y Moncrieff *et al.* (1996) señalan que la baja turbulencia nocturna actúa como un error de tipo sistemático selectivo, por subestimar la respiración del ecosistema y sobreestimar el secuestro de carbono, lo que genera conclusiones erróneas y relaciones espurias entre las variables.

Las probabilidades de ocurrencia de los eventos de la presencia de un dato de mejor calidad en el día a partir de la razón de Odds como aparece en la Tabla 3-4, indican la ventaja comparativa del día para capturar datos de mejor calidad respecto a la noche, la cual es de 2,05 veces, mientras que la noche tiene 51,11% menos de probabilidades que el día de poder capturar datos de calidad aceptable.

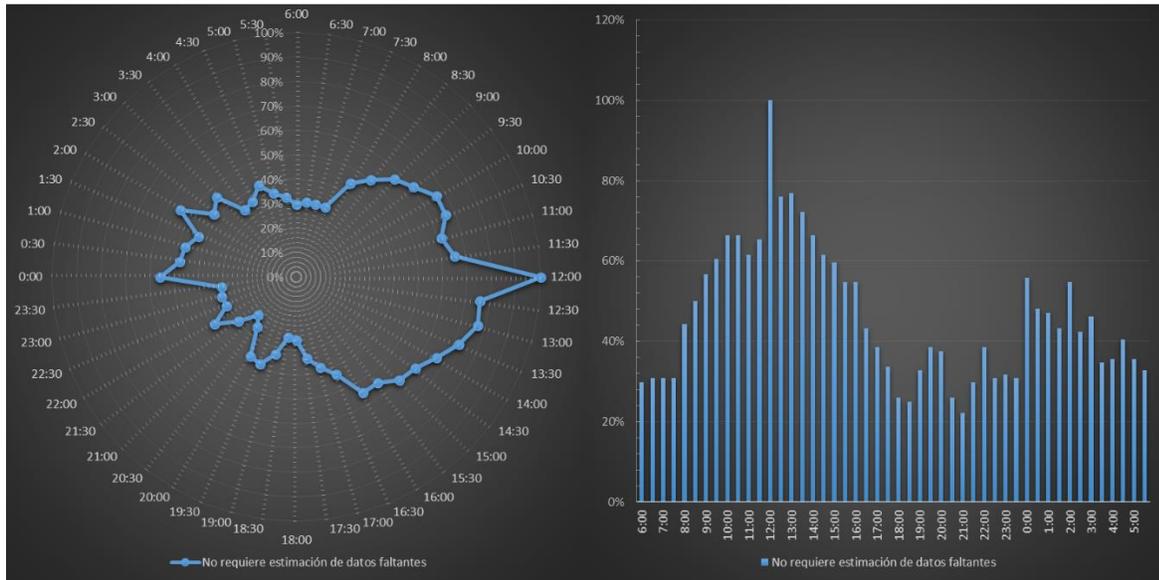
Tabla 3-4. Razón de Odds para la presencia de datos de calidad aceptable durante el día.

Factor	Odds ratio	Aproximación
Día/Noche	2,0454	104,54%
Noche/Día	0,4899	-51,11%

Para Aubinet *et al.* (2012), la jornada de medición durante el ciclo día-noche juega un papel fundamental en cuanto a la calidad y cantidad de los datos, situación y resultado consistente con otra consecuencia de la prueba integral de calidad, al identificar la cantidad de datos que no requieren estimación de información, como se presenta en la Figura 3-25, en la que se observa no sólo la diferencia en el ciclo día-noche, sino cómo en

el periodo entre las 9:30 y 14:30 hrs, la calidad de los registros refleja información más confiable.

Figura 3-25. Cantidad de datos confiables en el ciclo día-noche.



Mejorar la calidad de los datos implica necesariamente aumentar la cantidad de datos eliminados y reducir la cantidad de analizados ($p < 0,05$); como se aprecia en la Tabla 3-5, existe una correlación significativa ($p < 0,05$) entre la cantidad de datos analizados y la eliminación de datos nocturnos (-0,95) por límites absolutos (0,64), derivados de las condiciones físicas relacionadas con la turbulencia nocturna, que se mencionaron en apartes anteriores, y que afectan significativamente la calidad y la captura de la información de la noche (0,63). La eliminación de datos está significativamente asociada ($p < 0,05$) a la noche (0,95), la turbulencia y estacionariedad (0,71) y la no captura de datos (0,62), teniendo esta última una relación significativa con los límites absolutos.

Tabla 3-5. Cantidad (%) de datos eliminados por criterios de límites absolutos, captura, valores y calidad, por media horaria.

HORA	DATOS CAPTURADOS	DATOS NO CAPTURADOS	DATOS ELIMINADOS				TOTAL DATOS ELIMINADOS	DATOS ANALIZADOS
			por límites absolutos	por plausibilidad en la captura	por valores no posibles	por turbulencia y estacionariedad		
6:30	54,62%	45,38%	15,60%	8,89%		28,45%	45,41%	54,59%
7:00	73,28%	26,72%	10,08%	8,49%		40,32%	49,02%	50,98%
7:30	89,87%	10,13%	8,95%	3,53%		39,83%	45,21%	54,79%
8:00	94,28%	5,72%	7,08%	1,99%		34,93%	39,40%	60,60%
8:30	97,86%	2,14%	6,81%	0,41%		25,16%	28,60%	71,40%
9:00	98,09%	1,91%	7,13%	0,00%		15,73%	18,98%	81,02%
9:30	97,53%	2,47%	5,27%	0,00%		10,76%	14,15%	85,85%
10:00	97,36%	2,64%	4,30%	0,46%		9,34%	11,57%	88,43%
10:30	97,33%	2,67%	5,72%	0,44%		8,24%	13,33%	86,67%
11:00	96,30%	3,70%	6,51%	0,00%		8,33%	12,96%	87,04%
11:30	96,24%	3,76%	5,72%	0,00%		4,49%	9,35%	90,65%
12:00	95,80%	4,20%	5,48%	0,14%		3,87%	8,86%	91,14%
12:30	96,29%	3,71%	6,83%	0,00%		5,77%	11,17%	88,83%
13:00	96,30%	3,70%	7,90%	0,00%		5,13%	10,71%	89,29%
13:30	96,30%	3,70%	7,82%	0,00%		8,33%	12,87%	87,13%
14:00	96,21%	3,79%	8,28%	0,00%		9,62%	14,18%	85,82%
14:30	95,68%	4,32%	8,74%	0,00%		13,55%	18,00%	82,00%
15:00	95,62%	4,38%	13,36%	0,00%		12,91%	20,82%	79,18%
15:30	96,10%	3,90%	14,92%	0,44%		11,56%	22,25%	77,75%
16:00	96,30%	3,70%	14,00%	0,00%		12,18%	22,06%	77,94%
16:30	96,30%	3,70%	12,04%	0,00%		20,51%	27,52%	72,48%
17:00	96,30%	3,70%	10,46%	0,00%		36,54%	42,42%	57,58%
17:30	95,68%	4,32%	8,15%	0,00%		34,84%	37,61%	62,39%
18:00	95,68%	4,32%	6,14%	0,00%		32,90%	35,15%	64,85%

HORA	DATOS CAPTURADOS	DATOS NO CAPTURADOS	DATOS ELIMINADOS				TOTAL DATOS ELIMINADOS	DATOS ANALIZADOS
			por límites absolutos	por plausibilidad en la captura	por valores no posibles	por turbulencia y estacionariedad		
18:30	95,06%	4,94%	7,28%	0,00%	20,13%	37,66%	50,60%	49,40%
19:00	95,06%	4,94%	7,08%	0,00%	11,04%	29,22%	39,78%	60,22%
19:30	95,06%	4,94%	6,19%	0,00%	6,49%	31,17%	40,06%	59,94%
20:00	95,06%	4,94%	6,27%	0,00%	23,38%	30,52%	48,51%	51,49%
20:30	95,06%	4,94%	5,87%	0,00%	26,62%	32,47%	52,05%	47,95%
21:00	95,06%	4,94%	5,28%	0,00%	31,82%	30,52%	53,33%	46,67%
21:30	94,44%	5,56%	6,74%	0,00%	24,84%	35,29%	51,23%	48,77%
22:00	94,44%	5,56%	4,78%	0,00%	31,37%	27,45%	47,98%	52,02%
22:30	91,98%	8,02%	6,81%	0,00%	31,54%	32,21%	50,49%	49,51%
23:00	90,74%	9,26%	7,55%	0,00%	37,41%	32,65%	57,59%	42,41%
23:30	90,69%	9,31%	8,31%	0,00%	39,46%	26,53%	55,66%	44,34%
0:00	93,21%	6,79%	9,08%	0,00%	40,40%	15,89%	51,82%	48,18%
0:30	90,12%	9,88%	9,03%	0,00%	36,99%	19,86%	51,24%	48,76%
1:00	87,65%	12,35%	9,14%	0,00%	14,79%	16,20%	34,64%	65,36%
1:30	87,65%	12,35%	9,54%	0,00%	75,35%	23,24%	80,27%	19,73%
2:00	87,04%	12,96%	10,90%	0,00%	43,97%	23,40%	57,43%	42,57%
2:30	84,57%	15,43%	11,75%	0,00%	16,79%	28,47%	49,55%	50,45%
3:00	80,86%	19,14%	11,84%	0,00%	48,09%	19,08%	64,70%	35,30%
3:30	79,01%	20,99%	11,49%	0,00%	54,69%	24,22%	67,50%	32,50%
4:00	72,84%	27,16%	13,31%	0,00%	50,00%	31,36%	67,96%	32,04%
4:30	69,14%	30,86%	13,74%	0,00%	47,32%	29,46%	64,17%	35,83%
5:00	62,35%	37,65%	11,77%	0,00%	48,51%	23,76%	64,48%	35,52%
5:30	56,79%	43,21%	13,59%	0,00%	44,57%	23,91%	58,97%	41,03%
6:00	51,55%	48,45%	15,83%	0,75%	74,99%	31,13%	79,78%	20,22%

La Figura 3-26 y la Tabla 3-6 presentan el resultado final de los filtros de calidad de la información; se observa que el mejor periodo de captura de información válida se encuentra entre las 9:30 y las 14:00 hrs (línea azul), aunque la ventana entre las 9:00 y las 16:00, puede ser plausiblemente aceptable. Se presenta un periodo donde la cantidad de

datos eliminados supera los analizados y que comprende entre las 3:00 y las 6:30 hrs, ventana de datos eliminados de crecimiento progresivo, que inicia desde las 21:00 hrs y finaliza a las 6:30 (línea naranja).

Figura 3-26. Cantidad de datos validos para análisis por media horaria de la torre *Eddy Covariance*.

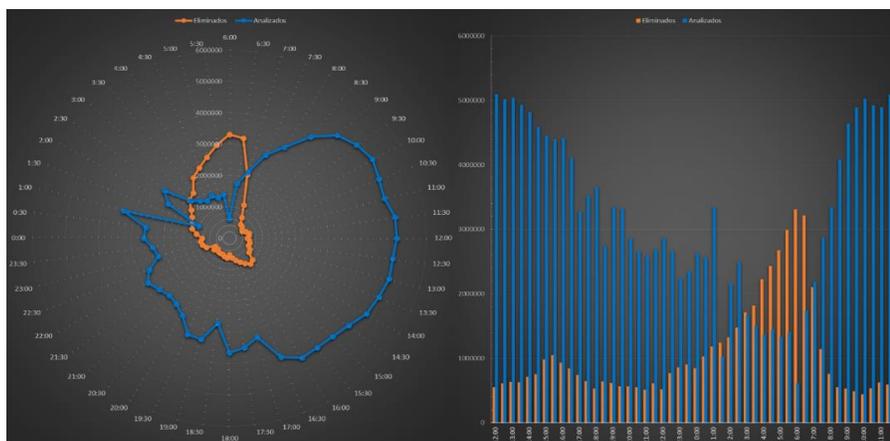
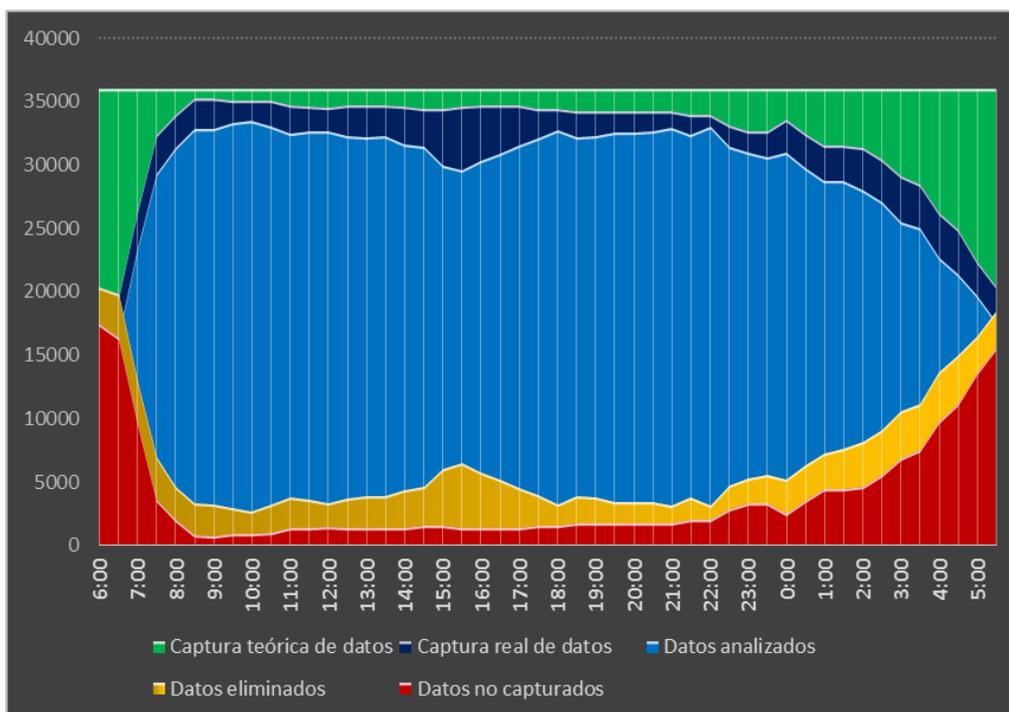


Tabla 3-6. Cantidad (%) de datos capturados, eliminados y analizados por media horaria de la torre *Eddy Covariance*.

HORA	DATOS CAPTURADOS	DATOS ELIMINADOS	DATOS ANALIZADOS	HORA	DATOS CAPTURADOS	DATOS ELIMINADOS	DATOS ANALIZADOS
6:30	54,62%	45,41%	54,59%	18:30	95,06%	50,60%	49,40%
7:00	73,28%	49,02%	50,98%	19:00	95,06%	39,78%	60,22%
7:30	89,87%	45,21%	54,79%	19:30	95,06%	40,06%	59,94%
8:00	94,28%	39,40%	60,60%	20:00	95,06%	48,51%	51,49%
8:30	97,86%	28,60%	71,40%	20:30	95,06%	52,05%	47,95%
9:00	98,09%	18,98%	81,02%	21:00	95,06%	53,33%	46,67%
9:30	97,53%	14,15%	85,85%	21:30	94,44%	51,23%	48,77%
10:00	97,36%	11,57%	88,43%	22:00	94,44%	47,98%	52,02%
10:30	97,33%	13,33%	86,67%	22:30	91,98%	50,49%	49,51%
11:00	96,30%	12,96%	87,04%	23:00	90,74%	57,59%	42,41%
11:30	96,24%	9,35%	90,65%	23:30	90,69%	55,66%	44,34%
12:00	95,80%	8,86%	91,14%	0:00	93,21%	51,72%	48,28%
12:30	96,29%	10,71%	89,29%	0:30	90,12%	51,09%	48,91%
13:00	96,30%	10,30%	89,70%	1:00	87,65%	34,64%	65,36%
13:30	96,30%	12,32%	87,68%	1:30	87,65%	80,12%	19,88%
14:00	96,21%	14,18%	85,82%	2:00	87,04%	57,41%	42,59%
14:30	95,68%	18,00%	82,00%	2:30	84,57%	49,55%	50,45%
15:00	95,62%	20,24%	79,76%	3:00	80,86%	64,70%	35,30%
15:30	96,10%	21,60%	78,40%	3:30	79,01%	67,50%	32,50%
16:00	96,30%	21,42%	78,58%	4:00	72,84%	67,96%	32,04%
16:30	96,30%	26,88%	73,12%	4:30	69,14%	64,17%	35,83%
17:00	96,30%	41,78%	58,22%	5:00	62,35%	63,49%	36,51%
17:30	95,68%	36,96%	63,04%	5:30	56,79%	57,88%	42,12%
18:00	95,68%	34,51%	65,49%	6:00	51,55%	79,78%	20,22%

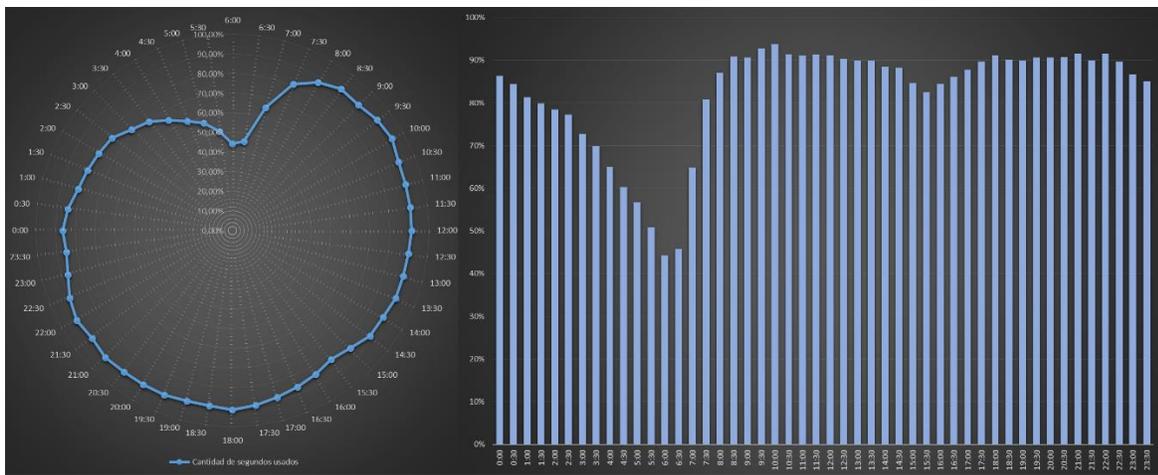
El resultado del proceso, como se aprecia en la Figura 3-27, arroja que del 89,10% de los datos capturados, el 62,02% son considerados para ser analizados (que corresponden al 55,26% del total teórico); en este contexto, muchos estudios para cuantificar el NEE, demuestran que, por diversas razones, un determinado porcentaje de datos se pierden o tienen que ser rechazados. Wilson y Baldocchi (2001) rechazaron el 22% del total de las mediciones realizadas, Katul et al. (2001) descartaron el 35% de los datos observados, Monson et al. (2002) señalan la necesidad de rechazar casi un 20% de las mediciones, Hui et al. (2004) reportaron entre 9 al 60% de datos perdidos o rechazados en diferentes coberturas y Oh et al. (2011), quienes eliminaron el 49,7%, entre otros. En general, entre 17 y el 50% de las observaciones son reportadas como perdidas o rechazadas (Falge et al., 2001), lo que señala que con un 44,74% de rechazo y/o pérdida, el umbral es considerado como aceptable, más aun, cuando en estudios de largo plazo, la cobertura promedio de los datos durante un año no supera el 65% (Falge et al., 2001). Lo expuesto señala la necesidad del uso de metodologías eficaces y robustas que permitan estimar los datos faltantes, para poder hacer un cálculo más acertado del NEE.

Figura 3-27. Relación de la cantidad de datos capturados, no capturados, analizados y eliminados para análisis por media horaria de la torre *Eddy Covariance*.



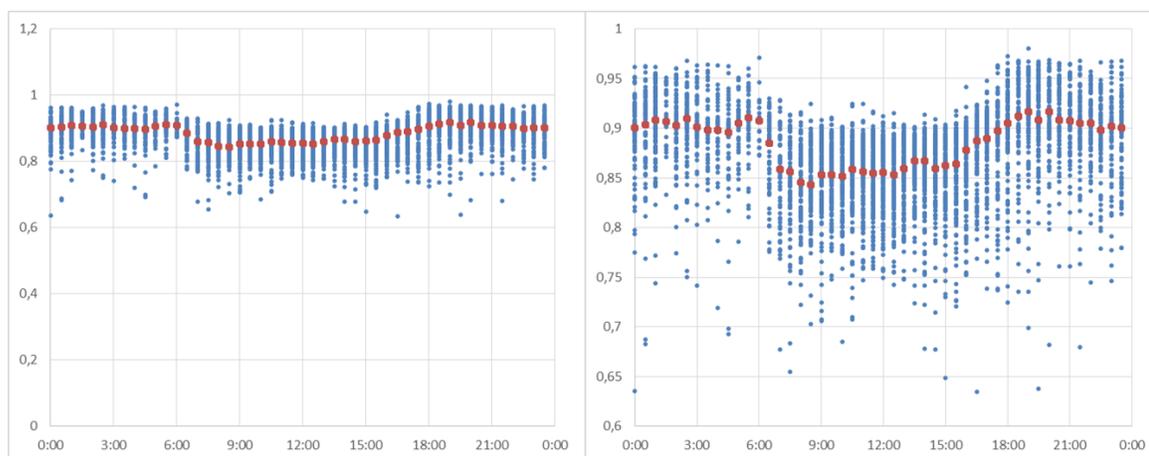
En la Figura 3-28 se presenta la cantidad porcentual de segundos por media hora válidos capturados; el resultado encontrado es coherente con los demás resultados que al respecto se han presentado. Los problemas eléctricos o físicos de la torre evitan la captura total de los datos esperados; al respecto, Folken *et al.* (2012) justifica la necesidad de transformar y trabajar la información en periodos de tiempo de mayor amplitud, como lo son medias horarias.

Figura 3-28. Cantidad de segundos válidos de datos capturados por la torre *Eddy Covariance*.



Finalmente, se evaluó la calidad de la base de datos resultante después de los filtros en términos del *footprint* estimado; el resultado señala que la base de datos es plausible y admisible para ejercicios de análisis de flujo de largo plazo, con una turbulencia aceptable, aunque no bien comportada. En la Figura 3-29 se presenta el resultado durante el ciclo día-noche, en la cual se observa que para la totalidad de la base de datos resultante, los valores obtenidos en el intervalo calculado entre 0,63 y 0,98, se encontraron entre $0.3 < ITC_{\sigma} < 1$, lo que avala lo enunciado.

Figura 3-29. Dirección predominante del viento en el área de influencia del sistema *Eddy Covariance*.



3.2 Comprensión de la Variación

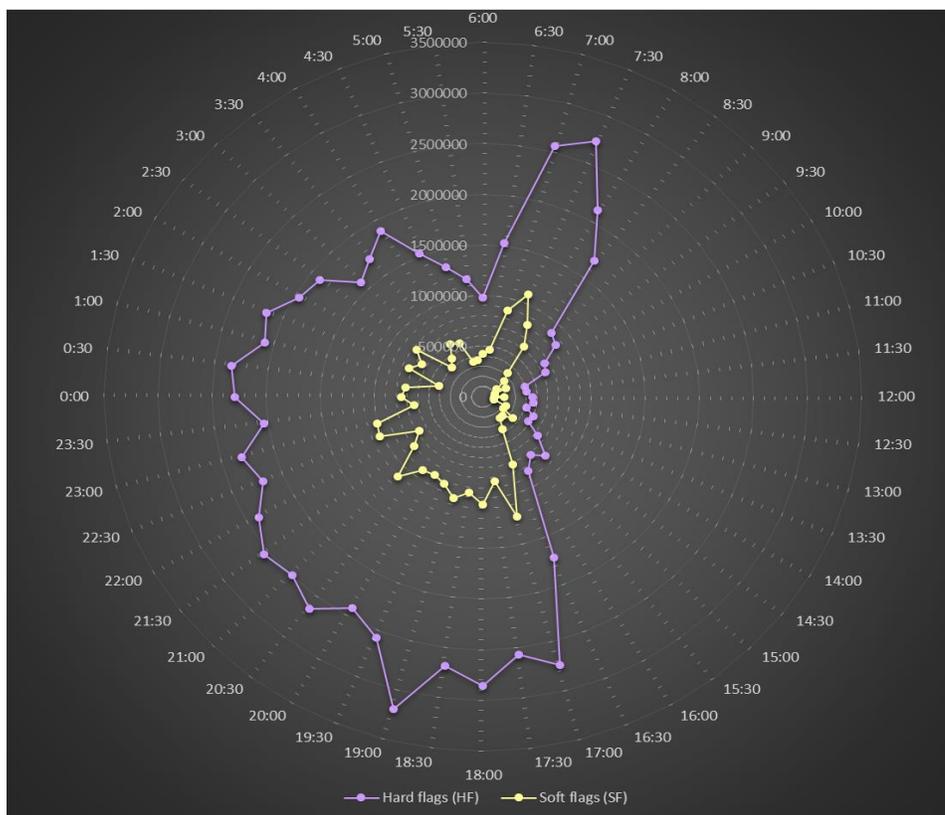
El control de calidad de los datos para determinar los flujos es el segundo paso del procesamiento. La aplicación de los criterios de control de calidad utilizados para este trabajo, fundamentados en lo propuesto por Vickers y Mahrt (1997), introduce los llamados “*flags*”, etiquetas o abanderamientos, que son utilizados para identificar errores causados por problemas instrumentales o de grabado de datos denominados “*Hard flags*” (*HF-abanderamientos fuertes*), mientras que los “*Soft flags*” (*SF-abanderamientos suaves*) son empleados para identificar comportamientos estadísticamente anormales o inusuales, que podrían ser físicamente plausibles o aparentemente son causados por el ambiente.

La literatura reporta diversos procedimientos que buscan estos problemas con el ánimo de mejorar la calidad (criterios de control de calidad) al remover datos cuando existen abanderamientos o etiquetas derivados de los sensores cuando indican problemas o están fuera de rango; pero la mayoría de autores concluyen que ningún procedimiento presenta resultados completamente satisfactorios, y que un análisis posterior de los datos, cualquiera que sea éste, es mejor que cualquier programa automatizado, pues es difícil que un software sea capaz de discernir un evento poco frecuente, que realmente atienda

a razones físicas (como en este caso la presencia de los animales), de un error obvio en el muestreo, o simplemente reconocer particularidades propias del ecosistema en evaluación (Anthoni *et al.*, 1999; Foken y Vichura, 1996; Hollinger *et al.*, 1995; Muger y Loescher, 2010; Smith *et al.*, 2000; Vickers y Mahrt, 1997).

En la Figuras 3-30 se presenta la distribución de las observaciones etiquetadas como HF y SF durante el ciclo día-noche para la totalidad de la base de datos de las series de tiempo de las variables relacionadas con el CO₂; se aprecia el aumento de HF y SF en la noche respecto del día, con una cantidad baja de datos marcados entre las 9:30 hasta las 15:30 hrs es bajo. El incremento en los abanderamientos encontrados entre las 6:00 y las 9:00 hrs, es debido principalmente a problemas instrumentales más que físicos, los cuales se traducen en datos de baja o mala calidad que fueron eliminados.

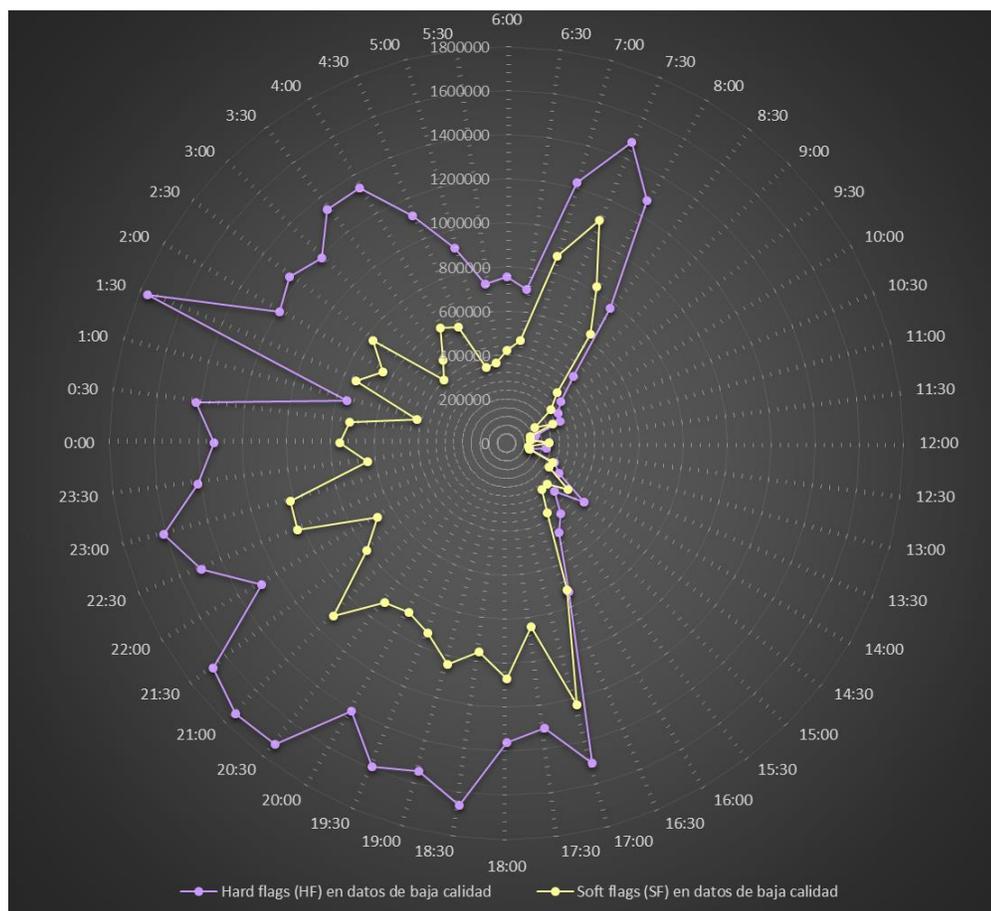
Figura 3-30. Datos etiquetados como *Hard flags* y *Soft flags*.



Las Figuras 3-31 y 3-32, presentan la calidad de los abanderamientos etiquetados como HF y SF, de acuerdo con la calidad de los datos. Según Borja (2008), las etiquetas no son

absolutas si no que dependen en gran medida del sitio experimental en el que se mida, estando sujetas a un posible cambio en función de los criterios que se consideren oportunos; lo anterior señala, que se requirió llevar a cabo una inspección final visual de las series temporales etiquetadas como HF y SF para verificar problemas instrumentales, de grabado o extraños, pero físicamente verosímiles (la presencia de los animales). Como se aprecia en la Figura 3-31, los abanderamientos encontrados entre las 16:00 y hasta las 9:00 hrs se definieron principalmente por inconvenientes de tipo físico derivados del efecto del ciclo día-noche, y/o instrumentales, efecto este último marcado entre las 6:30 y 8:30 hrs, como se explicó anteriormente.

Figura 3-31. Observaciones de baja calidad etiquetadas como *Hard flags* y *Soft flags*.



Para los abanderamientos que se presentan en la Figura 3-31, el 100% de los datos etiquetados como SF son a su vez HF; corresponden a comportamientos físicamente plausibles o causados por el ambiente (SF), asociados a la turbulencia y los vientos, que

afectan el registro de los datos (HF), principalmente en las noches. La Tabla 3-7, evidencia la presencia de datos etiquetados como SF en el día y en la noche; la dependencia entre las variables, señala que la presencia o ausencia de SF, al igual que de HF, dependen de la jornada de medición en cuanto al sitio y la torre.

Tabla 3-7. Tabla de contingencia para los datos etiquetados como *soft flags* respecto del día.

Factor	Ausencia de SF	Presencia de SF	Total
Día	43,60	7,63	51,22
Noche	37,80	10,98	48,78
TOTAL	81,39	18,61	100,00

En la Tabla 3-8, se presenta el análisis de los datos etiquetados como SF; la noche presenta un 66,11% más de probabilidad que el día de tener datos marcados como SF en las observaciones capturadas, mientras que el día tiene 39,80% menos probabilidad que la noche de presentar datos etiquetados como SF.

Tabla 3-8. Razón de Odds para la presencia de datos etiquetados como *soft flags* respecto del día.

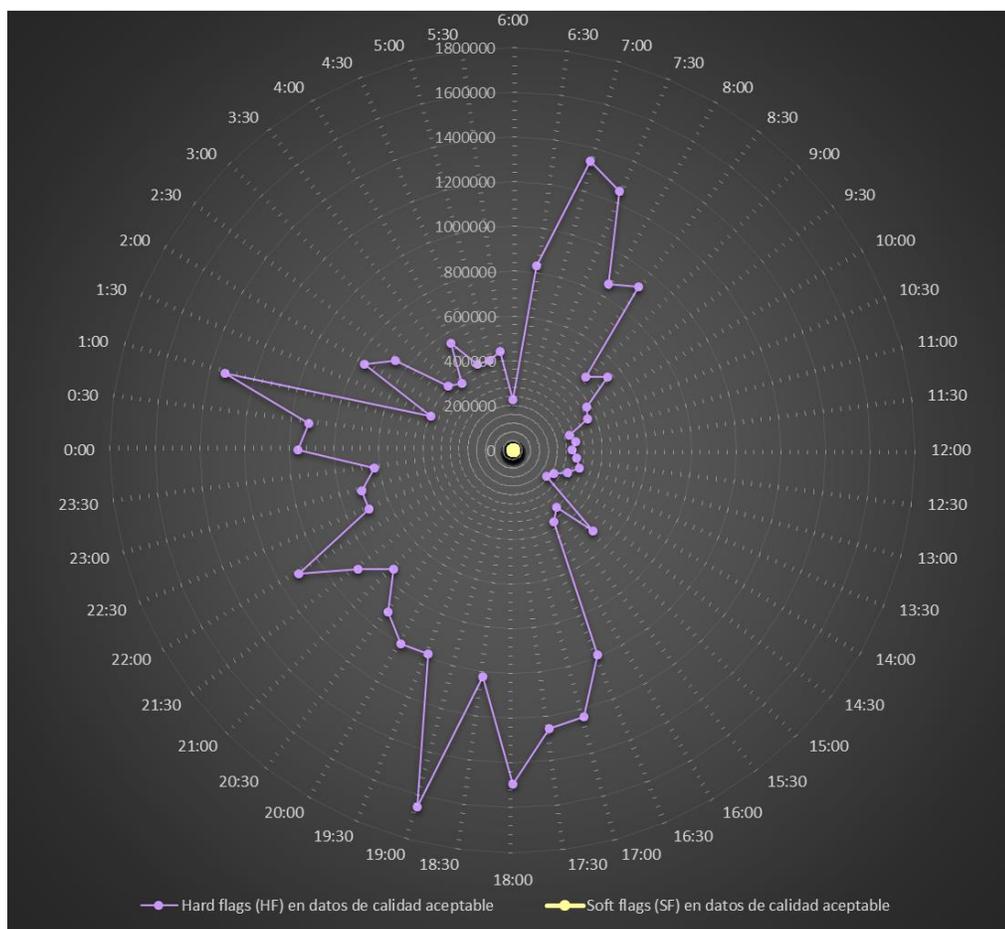
Factor	Odds Ratio	Aproximación
Noche/Día	1,6611	66,11%
Día/Noche	0,6020	-39,80%

La totalidad de observaciones de baja calidad fueron eliminadas al considerarse como anómalas según lo propuesto por Vickers y Mahrt (1997); datos etiquetados como *soft flags* por problemas de turbulencia y calidad estadística, y *hard flags* por instrumentación y captura. No existe un procedimiento estándar para la remoción de datos espurios o recomendaciones que operen de manera universal para cualquier sitio (Muger y Loescher, 2010); al aplicar los criterios de eliminación para determinar la base de datos que se utilizó para análisis posteriores, no existían SF para datos de calidad aceptable, al igual que HF en datos de calidad baja, como se aprecia en la Figura 3-32.

Lo anterior señala que, el cambio en los datos medidos, implica también que cada prueba sea específica para cada sitio y sus condiciones; los filtros (criterios de calidad de datos)

tienen que aplicarse con cuidado, y no debe significar una simple eliminación. El método dependerá del sitio experimental, de los aparatos de medida y la elección de los criterios de calidad; para este trabajo, la elección de los filtros (criterios) conllevó un análisis paralelo de no eliminación de datos para las variables medidas por la torre EC; cada uno de los criterios tiene su propia forma de detección y ajuste, establecidos con el fin de corregir los datos capturados por la torre a juicio del investigador, ya que modifican el cálculo de flujos al estar basados en medias y varianzas, las cuales se alteran fácilmente por datos atípicos (Borja, 2000; Rebmann *et al.*, 2012; Schmid *et al.*, 2000).

Figura 3-32. Observaciones de calidad aceptable etiquetadas como *Hard flags* y *Soft flags*.



Como se aprecia en la Figura 3-32 y en la Tabla 3-9, se observan diferencias en cuanto a la presencia de datos etiquetados como HF en el día y en la noche; la dependencia entre las variables, indica una mayor cantidad de datos atípicos etiquetados como HF durante la

noche, de lo que se infiere la dependencia del ciclo día-noche en la jornada de medición de la torre y su relación con los errores de medición de instrumentos o factores externos en el ambiente (Thomson y Hassman, 2001).

Tabla 3-9. Tabla de contingencia para los datos etiquetados como *hard flags* respecto del día.

Factor	Ausencia de HF	Presencia de HF	Total
Día	38,76	12,46	51,22
Noche	29,17	19,61	48,78
TOTAL	67,93	32,07	100

En la Tabla 3-10, se presentan las razones de Odds respecto al etiquetado de datos atípicos clasificados como HF; se puede evidenciar que la noche tiene 2,09 veces más probabilidad de presentar datos atípicos que el día, mientras el día tiene 52,19% menos de probabilidad que la noche de presentar datos atípicos.

Tabla 3-10. Razón de Odds para la presencia de datos etiquetados como *hard flags* respecto del día.

Factor	Odds ratio	Aproximación
Noche/Día	2,0914	109,14%
Día/Noche	0,4781	-52,19%

Al no existir un esquema uniforme para el control de calidad de las mediciones en la técnica EC (Aubinet *et al.*, 2012), su implementación se efectuó únicamente con el objetivo de registrar la presencia animal como HF en el contexto del flujo de CO₂, dependiendo del criterio de etiquetado (abanderamiento) utilizado, cuando la presencia del animal es marcada como un error (Oh *et al.*, 2011); teniendo en cuenta que el abanderamiento como HF es registrado tanto para la ausencia como la presencia de fluctuaciones debidas al animal. Es importante señalar, que no existe método o criterio que discrimine entre problemas asociados a la electrónica, de posibles comportamientos físicos verosímiles; los criterios de eliminación, generalmente se formulan en términos de desviaciones estándar respecto del promedio o en términos de alguna otra propiedad estadística, lo que hace que algunas de las propiedades estadísticas, podrían estar contaminadas por los picos asociados a la electrónica.

Soussana *et al.* (2007) afirman que la magnitud de las variables relacionadas con los gases o los flujos medidos por torres EC, cuando éstas se encuentran sobre pasturas, son altamente dependientes de la calidad y cantidad de la biomasa, el peso y el tipo de animales en el rango de medición (Wohlfahrt *et al.*, 2012). Lo anterior implicó para este estudio, implementar los criterios *spikes*, *amplitude resolution*, *dropouts*, *higher moments*, *discontinuities*, y *lag correlation*, propuestos por Vickers y Mahrt (1997), para encontrar y analizar las relaciones entre la técnica y la presencia animal a través de los abanderamientos de CO₂, en términos de las variables concentración de CO₂, temperatura y velocidad en los 3 planos (u, v y w) presentados en la Tabla 3-11; sólo fueron filtrados por la calidad de los datos, ya que a través de ellos era posible identificar la interacción existente entre la pastura y el bovino, en el marco de los flujos de CO₂.

Tabla 3-11. Cantidad de observaciones (%) para los criterios de control de calidad (HF) en el preprocesamiento de información.

CRITERIO	VARIABLE	HARD FLAG (%)		SOFT FLAG (%)	
		Reales	Teóricos	Reales	Teóricos
Spikes	Temperatura	0.00	0.00		
	CO ₂	0.08	0.10		
	Velocidad en U	20.10	24.63		
	Velocidad en V	16.70	20.46		
	Velocidad en W	0.39	0.47		
Amplitude	Temperatura	54.92	67.28		
	CO ₂	1.02	1.25		
	Velocidad en U	12.18	14.92		
	Velocidad en V	11.99	14.69		
	Velocidad en W	18.28	22.39		
Dropouts	Temperatura	60.32	73.89		
	CO ₂	4.56	5.59		
	Velocidad en U	0.00	0.00		
	Velocidad en V	0.14	0.17		
	Velocidad en W	0.00	0.00		
Hard Higher Moment	Temperatura	1.14	1.39	10.03	12.28
	CO ₂	50.79	62.21	27.23	33.36
	Velocidad en U	13.32	16.32	20.43	25.02
	Velocidad en V	9.03	11.06	32.56	39.88
	Velocidad en W	50.06	61.33	30.00	36.75

CRITERIO	VARIABLE	HARD FLAG (%)		SOFT FLAG (%)	
		Reales	Teóricos	Reales	Teóricos
Hard Discontinuities	Temperatura	0.03	0.03	32.42	39.72
	CO ₂	0.00	0.00	5.92	7.25
	Velocidad en U	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en V	0.00	0.00	0.00	0.00
	Velocidad en W	0.00	0.00	0.00	0.00
Lag Correlation	Temperatura	1.95	2.39	1.42	1.74
	CO ₂	28.39	34.78	21.20	25.98

Como se presenta en la Tabla 3-12, la cantidad de datos de calidad aceptable (datos analizados) tiene una correlación directa significativa ($p < 0,05$) con los criterios *amplitude resolution*, *dropouts*, *higher moments* y *lag correlation*, comportamiento que se repite entre estos mismos, y que se explica porque las series temporales registradas en la torre EC durante el periodo de análisis, presentan problemas propios de la instrumentación y del muestreo del flujo al ser un resultado usual y propio de la aplicación de la técnica. Para el criterio *spikes*, no se encontraron valores significativos ($p > 0,05$), lo que señala que la existencia de datos atípicos en la información registrada no implica relaciones con la cantidad de datos o los demás criterios implementados (INTA, 2012), mientras que para el criterio *discontinuities*, se podría decir que para las series temporales, no existieron quiebres de largo y mediano plazo (Vickers y Mahrt, 1997), lo que significó el descarte de este criterio para el análisis.

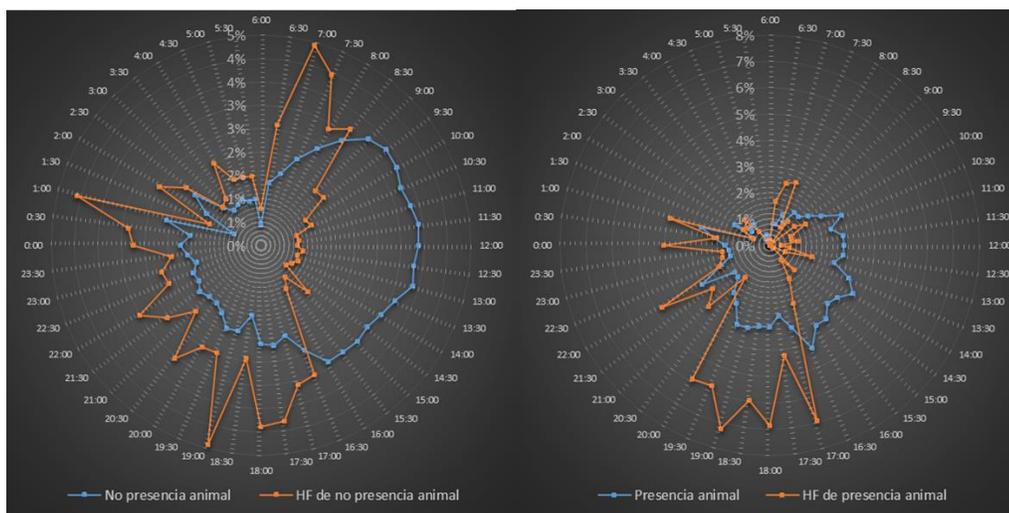
Tabla 3-12. Cantidad de observaciones (%) para los criterios de control de calidad por media horaria.

HORA	DATOS ANALIZADOS	CRITERIOS						HORA	DATOS ANALIZADOS	CRITERIOS					
		Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Discontinuities	Lag correlation			Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Discontinuities	Lag correlation
6:30	1,13%	0,82%	1,73%	1,19%	1,09%	7,60%	1,02%	18:30	1,78%	4,17%	2,05%	2,11%	1,80%	0,00%	1,85%
7:00	1,41%	0,85%	2,07%	0,99%	1,40%	76,93%	1,39%	19:00	2,16%	4,98%	1,09%	2,98%	2,19%	0,00%	2,16%
7:30	1,86%	0,62%	2,80%	1,29%	1,84%	0,00%	2,11%	19:30	2,15%	4,73%	0,57%	2,47%	2,18%	0,00%	1,85%
8:00	2,16%	0,70%	1,62%	1,76%	2,14%	0,00%	2,29%	20:00	1,85%	4,07%	0,38%	1,90%	1,87%	0,00%	2,16%
8:30	2,64%	1,24%	3,42%	2,48%	2,60%	0,00%	2,80%	20:30	1,72%	2,64%	0,60%	1,60%	1,74%	0,00%	1,85%
9:00	3,00%	1,23%	3,64%	3,16%	2,97%	0,00%	3,06%	21:00	1,68%	2,52%	0,45%	1,57%	1,70%	15,47%	1,84%
9:30	3,17%	1,08%	3,01%	3,16%	3,13%	0,00%	3,21%	21:30	1,74%	3,37%	0,53%	1,52%	1,76%	0,00%	1,79%
10:00	3,25%	1,44%	3,52%	3,78%	3,22%	0,00%	3,33%	22:00	1,86%	4,15%	0,24%	1,17%	1,88%	0,00%	1,92%
10:30	3,19%	0,84%	3,60%	3,79%	3,15%	0,00%	3,38%	22:30	1,72%	2,95%	1,87%	1,40%	1,74%	0,00%	1,96%
11:00	3,17%	1,07%	3,27%	3,77%	3,13%	0,00%	3,09%	23:00	1,45%	2,44%	1,65%	0,89%	1,47%	0,00%	1,70%
11:30	3,30%	1,13%	3,48%	4,66%	3,27%	0,00%	3,19%	23:30	1,52%	2,51%	2,36%	1,19%	1,54%	0,00%	1,72%
12:00	3,30%	0,67%	2,15%	3,76%	3,34%	0,00%	3,18%	0:00	1,70%	2,25%	1,65%	2,89%	1,65%	0,00%	1,47%
12:30	3,23%	0,89%	2,67%	3,35%	3,27%	0,00%	3,17%	0:30	1,66%	3,22%	1,30%	2,78%	1,66%	0,00%	1,52%
13:00	3,25%	1,86%	2,72%	3,15%	3,29%	0,00%	3,20%	1:00	2,17%	3,74%	2,14%	2,64%	2,14%	0,00%	1,95%
13:30	3,17%	1,31%	2,47%	3,06%	3,21%	0,00%	3,20%	1:30	0,65%	0,94%	0,13%	1,02%	0,64%	0,00%	0,62%
14:00	3,12%	1,18%	2,94%	2,49%	3,16%	0,00%	3,20%	2:00	1,40%	1,27%	0,59%	0,94%	1,37%	0,00%	1,30%
14:30	2,97%	1,01%	2,21%	2,29%	3,00%	0,00%	3,13%	2:30	1,61%	1,41%	1,55%	1,83%	1,58%	0,00%	1,83%
15:00	2,86%	2,36%	4,34%	2,80%	2,89%	0,00%	2,84%	3:00	1,08%	0,97%	1,09%	1,01%	1,07%	0,00%	0,97%
15:30	2,82%	2,18%	4,03%	2,50%	2,86%	0,00%	2,61%	3:30	0,97%	0,82%	0,05%	0,35%	0,96%	0,00%	0,81%
16:00	2,84%	2,71%	5,42%	2,75%	2,87%	0,00%	2,73%	4:00	0,88%	1,18%	0,61%	0,60%	0,84%	0,00%	0,87%
16:30	2,64%	3,99%	6,16%	2,02%	2,67%	0,00%	2,52%	4:30	0,94%	0,57%	0,39%	0,66%	0,92%	0,00%	1,02%
17:00	2,10%	5,01%	3,83%	1,62%	2,12%	0,00%	1,95%	5:00	0,84%	0,47%	0,45%	0,49%	0,82%	0,00%	0,80%
17:30	2,26%	3,96%	3,00%	2,37%	2,28%	0,00%	2,13%	5:30	0,88%	0,83%	0,31%	0,91%	0,82%	0,00%	0,73%
18:00	2,35%	5,54%	3,63%	2,74%	2,37%	0,00%	2,14%	6:00	0,39%	0,12%	0,23%	0,15%	0,40%	0,00%	0,43%

En la Figura 3-33 se observa que la información con abanderamientos (HF) y los datos registrados de la no presencia animal, están positiva y significativamente correlacionados ($p < 0,05$) con los datos de calidad aceptable etiquetados como HF (0,97) y la cantidad de datos válidos (0,98), presentados en las Figuras 3-32 y 3-27 respectivamente, de lo que se infiere el esquema de evaluación agroecosistémica ejecutado a partir de la pastura.

Los datos de la presencia animal y su comportamiento a la luz de los abanderamientos, demuestran que la introducción del animal altera la evaluación del agroecosistema ganadero con pasturas; lo que permite introducir al animal en la evaluación a partir de los criterios de calidad de información proveniente de la torre EC. Los resultados presentados verifican lo señalado por Dieguez y Fort (2017), Moraine y *et al.* (2016), Soussana *et al.* (2007) y Wohlfahrt *et al.* (2012), al afirmar que las mediciones de la torre EC cuando se encuentran sobre pasturas, dependen no sólo de los pastos y su manejo, sino que además de aspectos directos e indirectos relacionados con el animal tales como el tipo de animal, la forma de pastoreo, la ganancia de peso y la eficiencia metabólica, entre otros.

Figura 3-33. Observaciones de calidad aceptable etiquetadas como *Hard flags* y *Soft flags*.



Las áreas sobrepuestas en la Figura 3-33, señalan que los HF etiquetados tienen distintos tipos de origen, donde uno de ellos es la presencia animal, y la relación entre la cantidad

de datos, el abanderamiento y el criterio de calidad evaluado, es una manera de analizar el efecto del animal sobre las pasturas, en el contexto del CO₂.

En la Tabla 3-13 se analiza para todos los criterios de control de calidad, la dependencia entre la presencia animal y el abanderamiento como HF; vínculo significativo existente para la totalidad de los criterios ($p < 0,05$). La razón de la presencia animal señala, por su valor cercano a 1, que para los criterios *spikes*, *amplitude resolution* y *higher moments*, la existencia de una relación entre el abanderamiento con la presencia animal sin que sea debido al azar. Para los criterios *dropouts* y *lag correlation*, se establece que la presencia es posible que no sea detectada a pesar de los valores determinados en el intervalo de confianza y su cercanía en la razón de presencia al valor 1. La probabilidad de ocurrencia del abanderamiento, para la presencia del animal a partir de la razón de Odds, indica la posibilidad de detectar el animal respecto de la no presencia del mismo por medio de los criterios *spikes*, *amplitude resolution* y *higher moments*, las cuales son 2,61%, 24,97% y 7,37%, respectivamente; mientras que la no presencia tiene 2,55%, 19,40% y 6,86% menos de probabilidades que la presencia de poder ser identificada por esos criterios. Para el criterio *lag correlation*, se estableció que la presencia es un 11,00% menos probable a ser detectada por abanderamiento; mientras que para el criterio *dropouts*, es de tan sólo un 1,98% menos probable a ser detectada, valor del cual se puede llegar a inferir que determinan una no posible relación con el abanderamiento.

Tabla 3-13. Análisis de probabilidad para la detección de la presencia animal de acuerdo con los criterios de control de calidad.

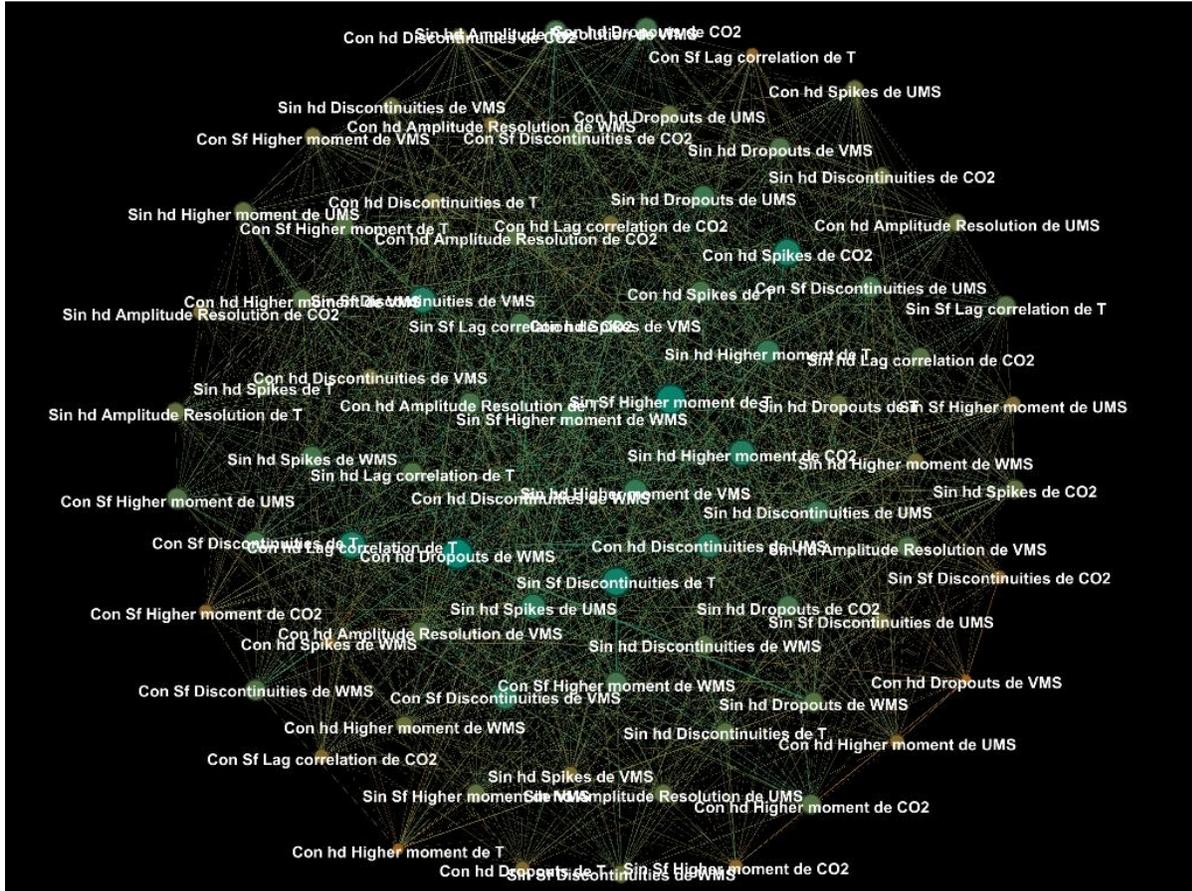
Factor Animal	Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Lag correlation
Razón de Presencia	1,013	1,0915	0,9897	1,0497	0,9182
IC (95%-Katz)	1,0000 a 1,0261	1,0871 a 1,0958	0,9877 a 0,9917	1,0490 a 1,0504	0,9171 a 0,9192
Odds Ratio Presencia/No presencia	1,0261	1,2407	0,9802	1,0737	0,8900
Aproximación Presencia/No presencia	2,61	24,07	-1,98	7,37	-11,00
Odds Ratio No presencia/Presencia	0,9745	0,8060	1,0202	0,9314	1,1236
Aproximación No presencia/Presencia	-2,55	-19,40	2,02	-6,86	12,36
Chi 2 -dependencia	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$

La magnitud en cuanto a los valores de la razón de la presencia animal, el significado de sus intervalos de confianza y la dependencia entre el abanderamiento y la presencia animal, observados en la Tabla 3-13, establecen que los abanderamientos como resultado de la presencia de los animales, son dependientes de las interacciones con el entorno; condiciones físicas que se expresan en una respuesta instrumental causada por las diferentes fuentes de origen y la cantidad de datos capturados. Lo expuesto, hizo que para el análisis de los criterios, se desarrollara un conjunto de técnicas estadísticas que permitieran la comprensión básica de los datos y las relaciones no perceptibles entre las variables analizadas; procesos de simulación gráfica de expresión visual, sencilla y efectiva entre los elementos o las múltiples variables, como herramientas útiles para el entendimiento de las interacciones de los constituyentes de las condiciones físicas (estructura) del agroecosistema ganadero.

Los grafos desarrollados, relacionan sistémicamente los criterios de calidad con las variables de las condiciones físicas involucradas en el agroecosistema ganadero bajo estudio; cada círculo representa un nodo y cada línea recta una arista, con signo positivo o negativo de acuerdo con la relación entre los nodos, y la intensidad del color y el tamaño de cada nodo, indican su jerarquía, la cual aumenta cuando su ubicación es central. La Figura 3-34, corresponde a un grafo inducido resultante de la interacción en el espacio

latente de 287 variables, que poseen 162 nodos y 39758 relaciones entre ellas; resultado que refleja la alta conectividad entre las variables analizadas aun cuando fueron sometidas a un proceso de depuración.

Figura 3-34. Grafo de relación en el análisis multivariado de la Copula Gaussiana.



En la Tabla 3-14 se presenta el ranking del grafo inducido de acuerdo al número de relaciones presentes para cada nodo; de acuerdo con este ranking, las variables más representativas se relacionan con el viento, explicado a partir de la turbulencia, velocidad en W y en V; la presencia animal, por el registro de la concentración de CO₂; y la turbulencia. El anterior resultado evidencia la importancia de las condiciones de la turbulencia y su relación tanto con los fenómenos de transporte de los gases (CO₂) ocasionados por la cizalladura del viento, como de la captura y la corrección de los datos atípicos por parte de la torre EC; lo que demuestra la necesidad de adaptar la metodología, a las condiciones del entorno que se va a evaluar.

Condición Física	Criterio de Calidad		Aristas
	Tipo	Abanderamiento	
Turbulencia en U	Hard flag	Sin	157
Concentración de CO2	Amplitud Resolution	Con	155
Presencia Animal			155
Concentración de CO2	Higher Moments	Con	153
Velocidad en W	Spikes	Sin	152
Turbulencia	Hard flag	Con	150
Velocidad en V	Spikes	Sin	150
Concentración de CO2	Spikes	Con	150

Como se aprecia en las Tablas 3-15 y 3-16, tanto la presencia de los animales como la no presencia, tienen una correlación directa significativa ($p < 0,05$) con los criterios *dropouts*, *higher moments* y *lag correlation*, y entre estos mismos, cuya interpretación se deriva de la implementación de la técnica EC (INTA, 2012).

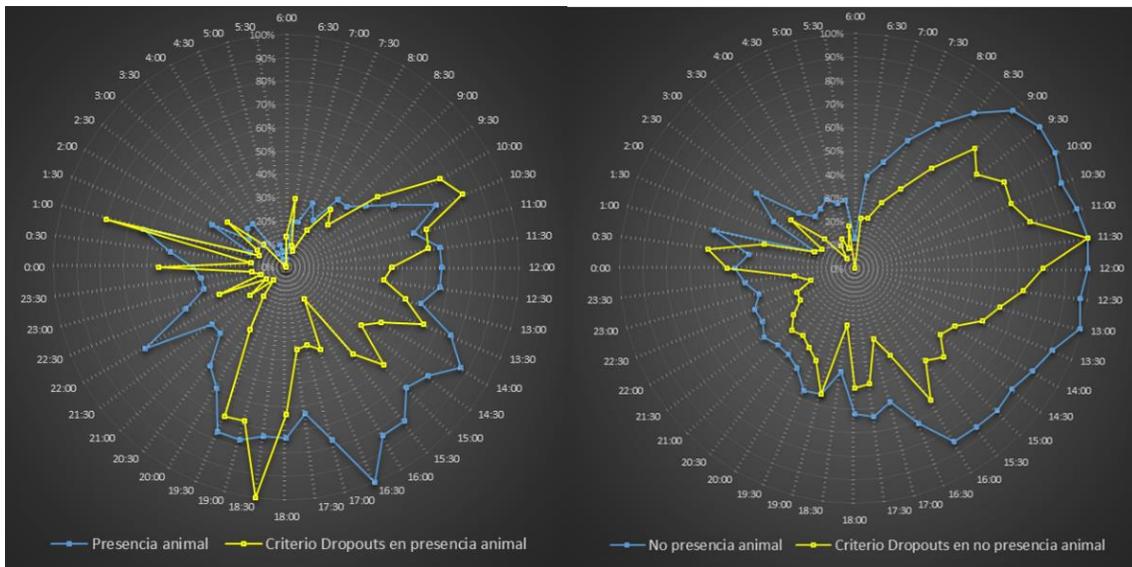
Tabla 3-14. Cantidad de observaciones (%) de no presencia animal para los criterios de control de calidad por media horaria.

HORA	No presencia animal	Hard flags	CRITERIOS					HORA	No presencia animal	Hard flags	CRITERIOS				
			Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Lag correlation				Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Lag correlation
6:30	1,35%	2,60%	0,98%	1,97%	1,07%	1,18%	1,15%	18:30	1,51%	2,45%	3,00%	1,83%	1,22%	1,57%	1,74%
7:00	1,59%	4,43%	1,08%	2,22%	1,11%	1,53%	1,46%	19:00	1,89%	4,42%	4,13%	0,86%	2,77%	1,94%	1,90%
7:30	2,00%	3,97%	0,79%	3,13%	1,52%	1,95%	2,14%	19:30	1,92%	2,49%	4,23%	0,53%	2,12%	1,91%	1,66%
8:00	2,40%	2,88%	0,90%	1,74%	1,95%	2,36%	2,54%	20:00	1,67%	2,52%	3,83%	0,17%	1,94%	1,76%	2,06%
8:30	2,83%	3,14%	1,55%	3,37%	2,68%	2,82%	3,03%	20:30	1,57%	3,05%	2,19%	0,57%	1,79%	1,66%	1,66%
9:00	3,24%	1,64%	1,37%	3,90%	3,61%	3,27%	3,20%	21:00	1,57%	1,99%	2,31%	0,51%	1,87%	1,64%	1,80%
9:30	3,37%	1,68%	1,07%	3,14%	3,27%	3,41%	3,40%	21:30	1,65%	2,54%	3,05%	0,53%	1,63%	1,72%	1,74%
10:00	3,35%	1,09%	1,61%	3,26%	3,67%	3,41%	3,64%	22:00	1,54%	2,99%	3,47%	0,19%	1,33%	1,63%	1,50%
10:30	3,24%	1,16%	1,00%	3,90%	3,59%	3,20%	3,46%	22:30	1,57%	2,14%	2,91%	1,87%	1,32%	1,65%	2,03%
11:00	3,32%	0,80%	1,33%	3,35%	3,85%	3,30%	3,24%	23:00	1,43%	2,20%	1,78%	1,70%	0,96%	1,44%	1,78%
11:30	3,40%	0,83%	1,35%	3,45%	4,99%	3,34%	3,15%	23:30	1,59%	1,93%	2,46%	2,71%	1,28%	1,58%	1,97%
12:00	3,37%	0,78%	0,87%	2,04%	3,99%	3,40%	3,20%	0:00	1,73%	2,74%	2,55%	1,83%	2,71%	1,61%	1,48%
12:30	3,29%	0,91%	1,10%	2,54%	3,61%	3,32%	2,97%	0:30	1,54%	2,86%	3,27%	1,48%	3,13%	1,54%	1,48%
13:00	3,37%	0,81%	2,02%	2,44%	3,20%	3,40%	3,09%	1:00	2,10%	4,09%	3,36%	2,19%	1,99%	2,06%	1,86%
13:30	3,10%	0,86%	1,50%	2,66%	2,94%	3,18%	3,15%	1:30	0,62%	1,19%	0,77%	0,08%	0,94%	0,61%	0,55%
14:00	2,97%	0,76%	1,31%	2,91%	2,46%	3,09%	2,99%	2:00	1,35%	2,52%	1,51%	0,38%	0,80%	1,35%	1,27%
14:30	2,86%	0,68%	0,82%	2,14%	2,30%	2,94%	3,05%	2:30	1,78%	2,02%	1,54%	1,46%	1,70%	1,69%	2,02%
15:00	2,91%	1,41%	2,48%	4,66%	2,67%	2,88%	2,95%	3:00	1,13%	1,15%	1,11%	1,06%	0,90%	1,10%	1,09%
15:30	2,89%	0,86%	2,21%	4,29%	2,47%	2,77%	2,55%	3:30	0,94%	1,25%	0,86%	0,06%	0,27%	0,94%	0,48%
16:00	2,89%	1,07%	3,10%	5,70%	3,23%	2,78%	2,69%	4:00	1,00%	2,03%	1,19%	0,66%	0,56%	0,97%	1,03%
16:30	2,43%	3,01%	4,39%	6,33%	1,99%	2,44%	2,49%	4:30	1,08%	1,52%	0,63%	0,45%	0,68%	0,98%	1,07%
17:00	2,00%	3,08%	5,49%	3,13%	1,55%	1,96%	1,86%	5:00	0,97%	1,52%	0,61%	0,52%	0,45%	0,89%	0,94%
17:30	2,16%	3,79%	4,40%	2,82%	2,47%	2,25%	2,18%	5:30	1,00%	1,50%	1,05%	0,36%	0,91%	0,92%	0,85%
18:00	2,10%	3,88%	5,32%	2,65%	2,55%	2,20%	1,95%	6:00	0,43%	0,78%	0,13%	0,26%	0,00%	0,46%	0,47%

HORA	Presencia animal	Hard flags	CRITERIOS					HORA	Presencia animal	Hard flags	CRITERIOS				
			Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Lag correlation				Spikes	Amplitud Resolution	Dropouts	Higher moments	Lag correlation
6:30	0,85%	1,69%	0,32%	0,07%	1,80%	0,67%	0,36%	18:30	3,11%	5,97%	8,66%	3,78%	6,03%	3,19%	2,50%
7:00	0,85%	2,43%	0,16%	1,14%	0,57%	0,83%	1,07%	19:00	3,25%	7,24%	8,02%	2,00%	4,13%	3,46%	3,21%
7:30	1,27%	2,58%	0,08%	0,54%	0,46%	1,27%	2,14%	19:30	3,25%	5,78%	6,67%	0,86%	4,18%	3,53%	2,50%
8:00	0,99%	0,80%	0,06%	0,89%	1,10%	1,03%	1,43%	20:00	2,55%	5,90%	5,32%	2,00%	1,88%	2,65%	2,86%
8:30	1,56%	1,15%	0,18%	4,09%	1,89%	1,58%	2,14%	20:30	2,26%	1,53%	4,50%	0,86%	0,95%	2,37%	2,86%
9:00	1,56%	0,00%	0,56%	0,86%	1,54%	1,54%	2,50%	21:00	1,70%	3,31%	3,39%	0,00%	0,46%	1,84%	1,78%
9:30	1,84%	1,18%	1,23%	2,28%	3,00%	1,82%	2,50%	21:30	1,70%	2,72%	4,78%	0,57%	1,18%	1,84%	1,78%
10:00	2,26%	1,59%	0,89%	4,85%	4,61%	2,36%	2,14%	22:00	2,97%	4,74%	6,72%	0,57%	0,60%	3,22%	3,57%
10:30	2,97%	0,89%	0,37%	1,71%	4,95%	3,02%	3,21%	22:30	1,98%	2,08%	3,37%	2,00%	1,86%	2,11%	1,43%
11:00	2,40%	0,87%	0,29%	2,00%	3,76%	2,36%	2,50%	23:00	1,56%	1,86%	4,95%	1,43%	0,69%	1,59%	1,43%
11:30	2,83%	1,09%	0,47%	3,99%	3,70%	3,03%	3,48%	23:30	1,56%	1,82%	2,95%	0,00%	0,89%	1,60%	1,07%
12:00	2,83%	0,44%	0,06%	3,14%	2,75%	3,02%	3,21%	0:00	1,70%	4,02%	1,22%	0,52%	3,31%	1,84%	1,77%
12:30	2,83%	0,75%	0,25%	3,87%	2,55%	2,98%	3,85%	0:30	2,12%	2,02%	3,10%	0,00%	0,92%	2,30%	2,14%
13:00	2,55%	1,66%	1,49%	4,97%	3,20%	2,66%	3,50%	1:00	2,69%	3,92%	4,73%	1,43%	4,83%	2,45%	2,14%
13:30	3,25%	0,63%	0,77%	1,30%	3,86%	3,35%	3,18%	1:30	0,71%	0,67%	1,21%	0,00%	0,77%	0,62%	0,71%
14:00	3,68%	0,08%	0,39%	3,38%	2,85%	3,50%	3,90%	2:00	1,56%	1,14%	0,53%	2,18%	0,88%	1,24%	1,43%
14:30	3,25%	0,14%	0,19%	2,32%	2,46%	3,25%	3,21%	2:30	1,85%	1,09%	0,56%	2,28%	1,92%	0,71%	0,71%
15:00	3,11%	1,33%	2,01%	1,79%	3,60%	2,97%	2,02%	3:00	0,99%	1,37%	0,51%	0,00%	0,84%	0,77%	0,71%
15:30	3,54%	0,71%	1,77%	1,86%	2,84%	3,27%	2,49%	3:30	0,99%	0,68%	0,39%	0,00%	0,01%	0,92%	2,14%
16:00	3,54%	1,48%	1,60%	3,79%	0,96%	3,24%	2,56%	4:00	0,28%	0,01%	0,02%	0,29%	0,04%	0,00%	0,01%
16:30	4,24%	2,38%	2,99%	5,42%	2,31%	3,93%	2,59%	4:30	0,14%	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%	0,15%	0,36%
17:00	3,25%	6,92%	3,51%	9,25%	2,08%	3,20%	2,86%	5:00	0,42%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,46%	0,36%
17:30	2,69%	4,24%	2,57%	4,58%	2,15%	2,71%	2,46%	5:30	0,28%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,15%	0,00%
18:00	3,11%	6,87%	5,96%	11,20%	3,81%	3,25%	2,86%	6:00	0,14%	0,22%	0,09%	0,00%	0,81%	0,15%	0,36%

Las correlaciones planteadas para el criterio *dropouts*, señalan que su magnitud y significancia están relacionadas con la cantidad de datos analizados, mas que con la presencia animal o su abanderamiento (ver Figura 3-35); situación que además se infiere por el resultado de la razón de presencia efectuada (prueba Chi²). Este comportamiento de la serie de tiempo, genera no linealidades y distorsiones no deseadas que eliminan datos y por ende afectan la representatividad de la información.

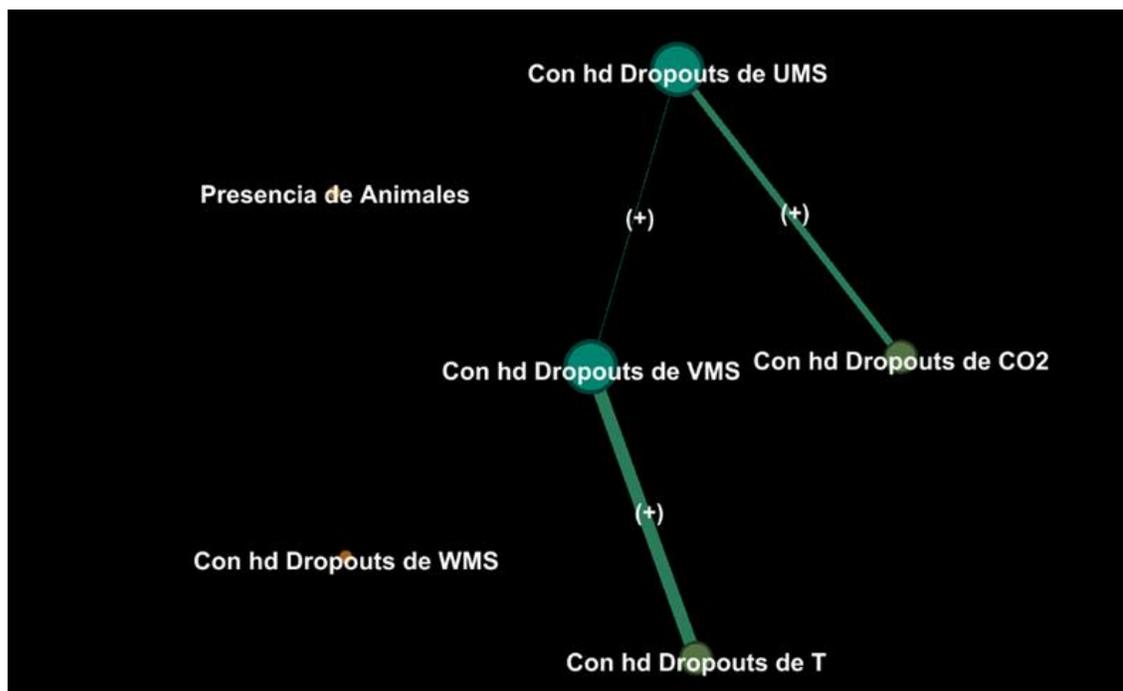
Figura 3-35. Cantidad (%) de datos para el criterio *dropouts* en presencia y no presencia animal.



En este caso, se registraron subidas y bajadas repentinas y continuas en el valor de los datos, lo que hace que la serie se fije a un valor constante; circunstancia que se origina por errores de lectura del sensor y la presencia de agentes externos.

Como se observa en la Figura 3-36, no se presenta en el grafo relación alguna de la presencia animal con este criterio en alguno de sus componentes, pero si la relación positiva de la temperatura y la concentración de CO₂ con los componentes de la velocidad; lo que se traduce en que este criterio se orienta al abanderamiento de la turbulencia ocasionada por los diferenciales diurnos de la radiación y la temperatura, y la cizalladura del viento. Aspectos fundamentales que explican los picos en su comportamiento en el ciclo día-noche de la energía, y que se registran en el sensor.

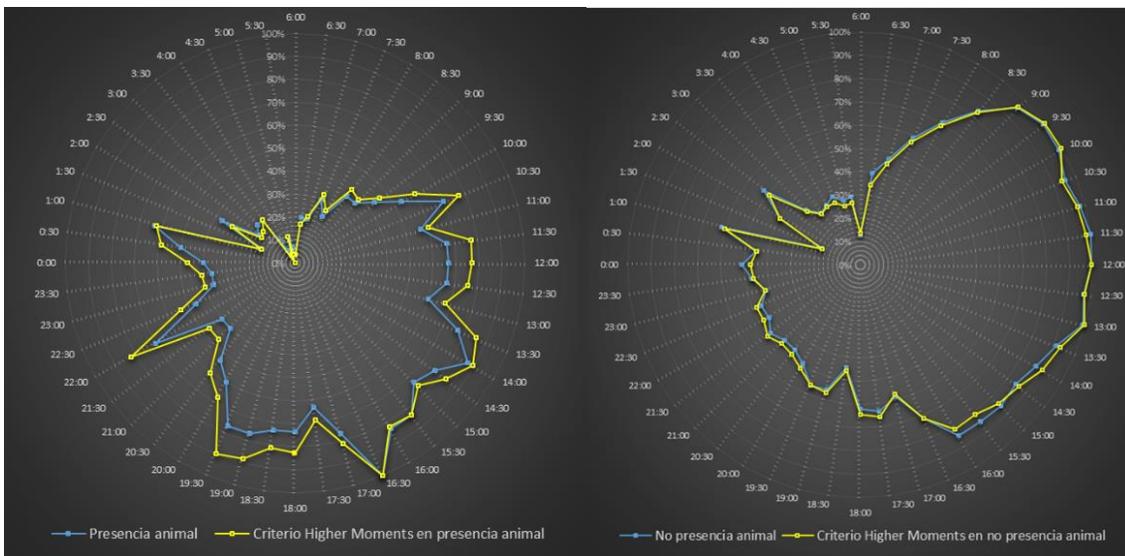
Figura 3-36. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio *dropouts*.



Los valores de las correlaciones encontradas para el comportamiento del criterio *higher moments*, señalan una relación significativa positiva con la cantidad de datos, como se aprecia en la Figura 3-37; comportamiento derivado de posibles problemas asociados a la instrumentación (ruido electrónico), al grabado de datos o a algún tipo de comportamiento

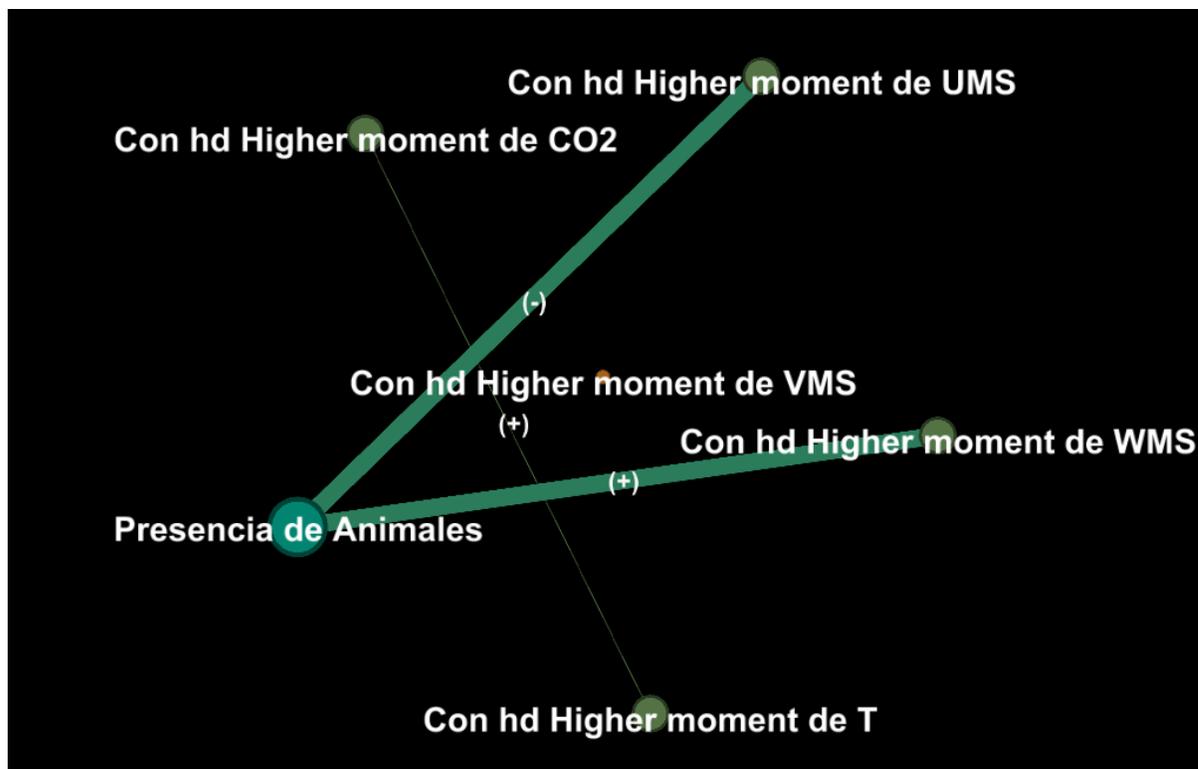
físico inusual. Este criterio permite visualizar el animal a través del abanderamiento; la presencia de las vacas puede generar comportamientos no lineales en la información, bien sea por obstrucción en el túnel de aire hacia el instrumento o por la respiración en el lugar, siempre y cuando la dirección del viento sea constante hacia el sitio donde se encuentra durante el transcurso del día, lo que genera pérdida de los supuestos convencionales sobre la distribución de la data, de donde se infiere, que tal vez sea un indicador indirecto de la presencia de las vacas a través del equipamiento.

Figura 3-37. Cantidad (%) de datos para el criterio *higher moments* en presencia y no presencia animal.



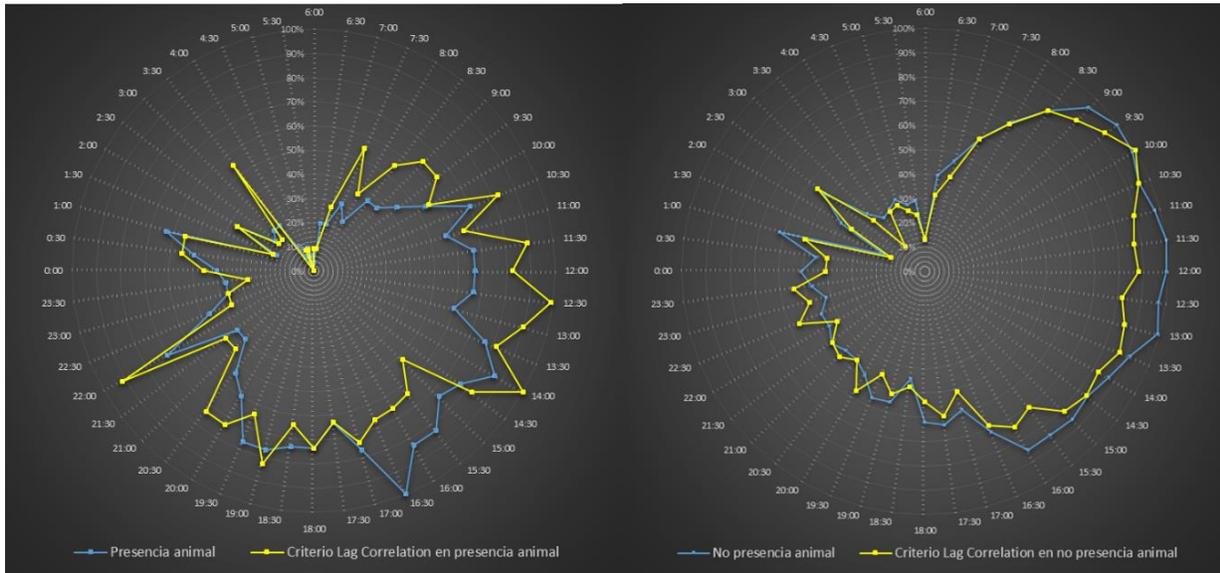
En la Figura 3-38 se indica la relación positiva que existe entre la presencia animal y los componentes de la velocidad vertical del viento; lo que plantea la relación de este criterio con la turbulencia, fenómeno que nada tiene que ver con la presencia de las vacas. Representa condiciones del entorno, que cuando son nulas o están alejadas del promedio del rango físico esperado, se convierten en abanderamientos por la susceptibilidad frente al cambio, en función del lugar experimental.

Figura 3-38. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio *higher moments*.



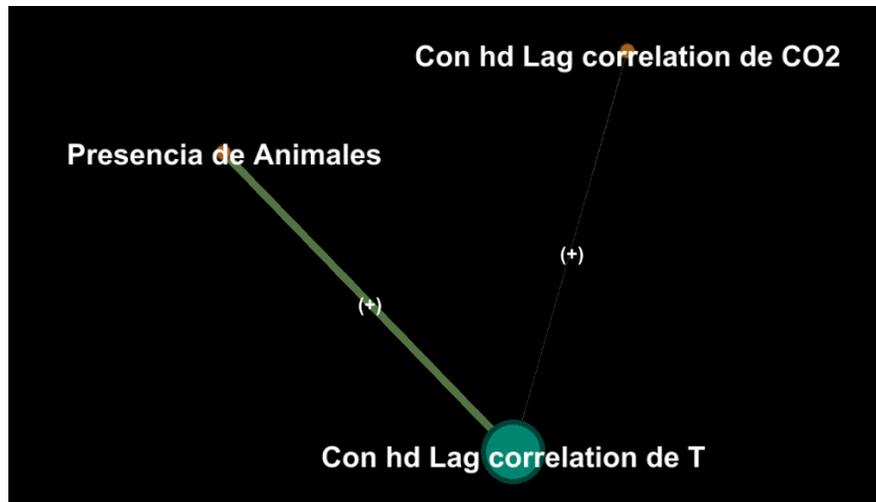
El análisis de *lag correlation* se aplica cuando la correlación entre la temperatura y la velocidad vertical y de ésta con la humedad específica, están fuera de cierto rango; mientras una correlación retrasada con la velocidad vertical tiene un sentido físico como por ejemplo frente a la alta humedad existente en las condiciones agroecosistémicas del C.I. La Libertad, un *lag* o retraso sistemático podría ser indicativo de problemas de comunicación entre los instrumentos que miden estas variables y podría causar una subestimación de los flujos. La Figura 3-39 ilustra las correlaciones significativas positivas de la cantidad de datos analizados a partir de la presencia y no del animal, cuyos resultados derivados de la prueba χ^2 infiere, por el resultado de la razón de presencia efectuada, una probable no detección de los animales.

Figura 3-39. Cantidad (%) de datos para el criterio *lag correlation* en presencia y no presencia animal.



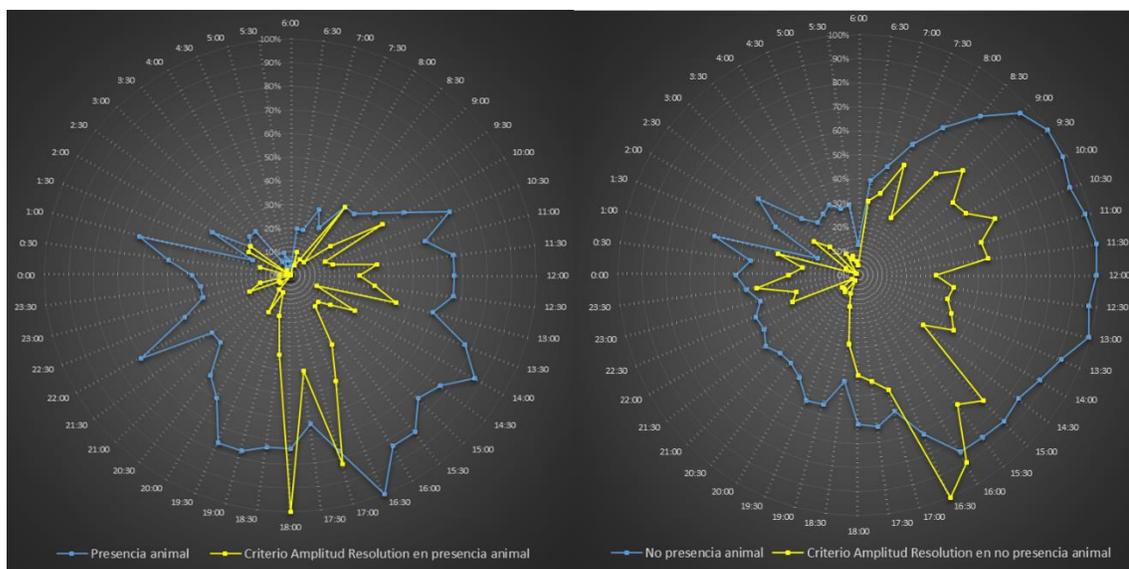
Este tipo de abanderamiento ocurre cuando la estación de procesamiento tarda más en guardar y clasificar la información respecto al tiempo que le toma al sensor registrarla; es un mal funcionamiento del sensor que produce pérdida de coherencia entre la información medida y almacenada. Este problema se asocia a que el procesamiento de la máquina puede tardar más que el tiempo empleado en la captura de información o, como se aprecia en la Figura 3-40, es posible que el dispositivo esté registrando fenómenos de turbulencia derivados de los diferenciales de energía del ciclo día-noche.

Figura 3-40. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio *lag correlation*.



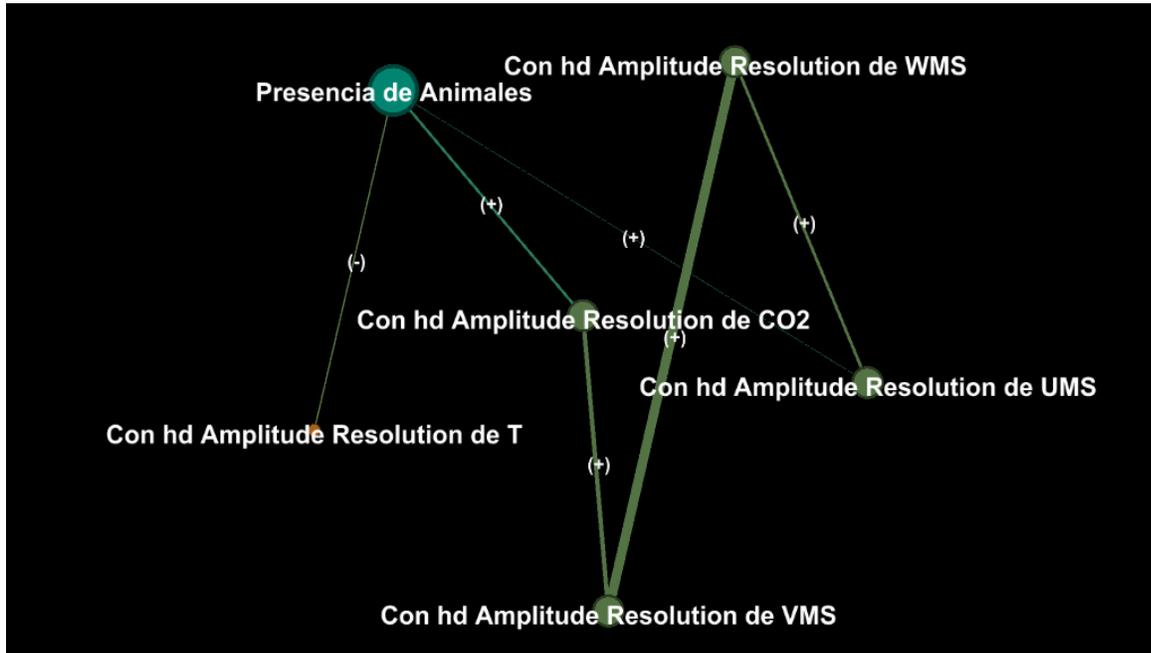
El criterio *amplitude resolution* tiene una correlación directa significativa ($p < 0,05$) con la presencia y no presencia de los animales, pero sólo con la no presencia de los mismos, se relaciona de manera significativa con los criterios *dropouts*, *higher moments* y *lag correlation*, como se observa en la Figura 3-41; lo anterior señala que en el caso de la presencia animal, por el cambio frecuente en la dirección del viento en el ciclo día-noche, la información no alcanza a variar lo suficiente para que sea registrada fielmente como respuesta del agroecosistema (Vickers y Mahrt, 1997). Los picos que se presentan son derivados de probables errores de lectura o procesamiento del sensor; este criterio muestra la no captura correcta de la variabilidad de las series, debida a una pérdida de fidelidad entre información registrada y la realidad del agroecosistema.

Figura 3-41. Cantidad (%) de datos para el criterio *amplitude resolution* en presencia y no presencia animal.



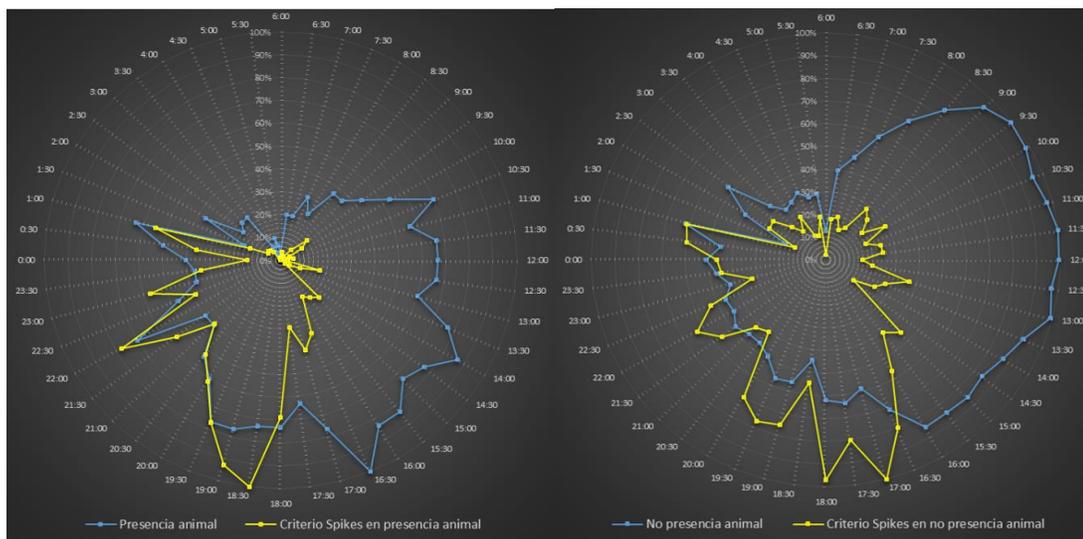
Como se observa en la Figura 3-42, la presencia de los animales se relaciona de forma positiva con la velocidad en U, lo que señala la importancia de la cizalladura, y el signo positivo de la relación con la concentración de CO_2 y negativo con la temperatura, muestra la importancia de la cantidad de datos y la varianza existente para detectar las fluctuaciones.

Figura 3-42. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio *amplitude resolution*.



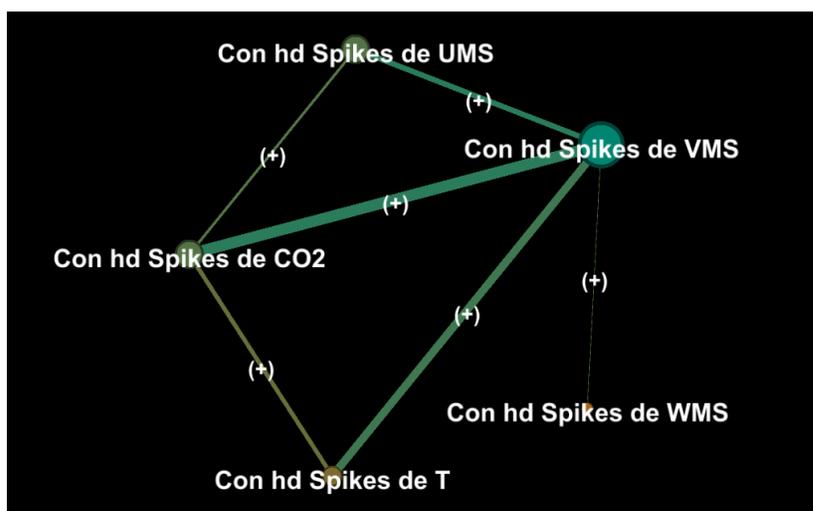
El criterio *spikes*, es el único que presenta una correlación directa significativa ($p < 0,05$) con HF, tanto para la no presencia como la presencia animal, siendo en esta última la magnitud mas alta (0,83); lo que se explica por la existencia de datos atípicos que corresponden a distorsiones significativas sobre las propiedades estadísticas de la serie de tiempo (Vickers y Mahrt, 1997). Como se aprecia en la Figura 3-43, la cantidad de datos no se relaciona con su abanderamiento; al ser considerados como error de lectura, la presencia animal puede generar picos en los datos de alta frecuencia, como producto de su interacción con la pastura o simplemente su respiración (cambios en la huella o cambios rápidos en las condiciones de turbulencia), que se traducen en problemas instrumentales o perturbaciones de tipo físico que causan un repentino aumento o disminución en el volumen de medición.

Figura 3-43. Cantidad (%) de datos para el criterio *spikes* en presencia y no presencia animal.



Aunque los *spikes* pueden tener como causa la presencia de los animales, son otras las condiciones que pueden influir en su presentación; como se aprecia en Figura 3-44, vale la pena resaltar la relación positiva existente entre los *spikes* con todos los componentes de la velocidad y la temperatura, lo que sugiere que la turbulencia, derivada tanto de la radiación y la cizalladura, son los precursores de su existencia.

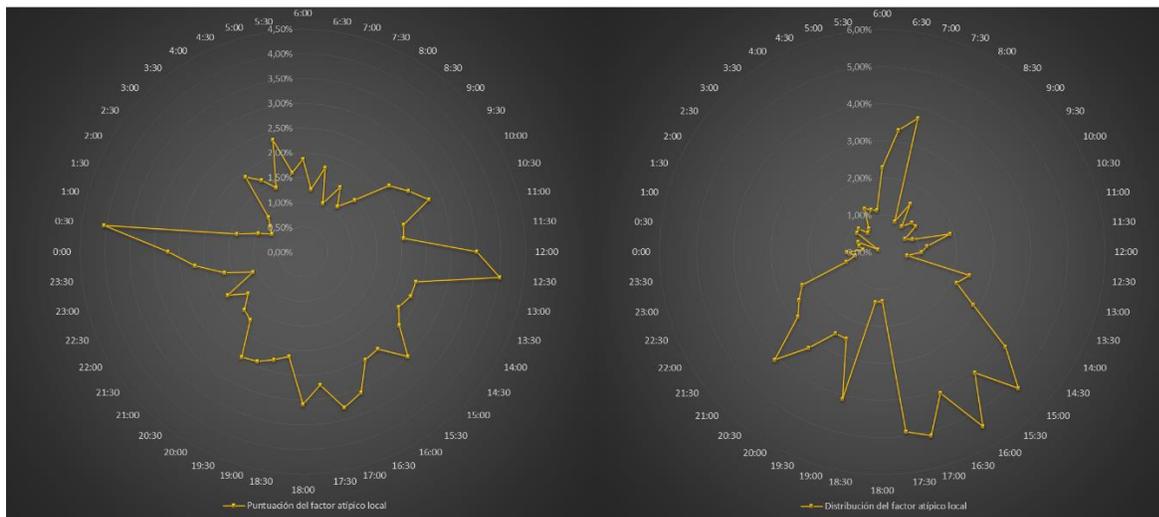
Figura 3-44. Grafo de relación de cópula gaussiana de la presencia animal para el criterio *spikes*.



Este criterio de calidad, el cual es el único que se relaciona con los abanderamientos de manera significativa, atributo que determina la presencia animal que etiqueta el 100% de los casos; cuya puntuación y distribución LOF se presenta en la Figura 3-45.

Al modelo no supervisado de detección de anomalías de Factor Atípico Local (LOF por sus siglas en inglés), se le asoció con los valores o patrones de comportamiento de los 6 criterios de calidad, al examinar campos de agrupamientos homogéneos en los que hay datos similares; buscó e identificó posibles asociaciones entre los criterios de calidad y los abanderamientos etiquetados como HF, resultando *spikes* la mejor opción a partir de la matriz de covarianzas, como se refleja en los valores de distribución durante el periodo diurno del ciclo día-noche.

Figura 3-45. Puntuación y distribución resultante de la presencia animal para el criterio *spikes*, identificado como Factor Atípico Local.



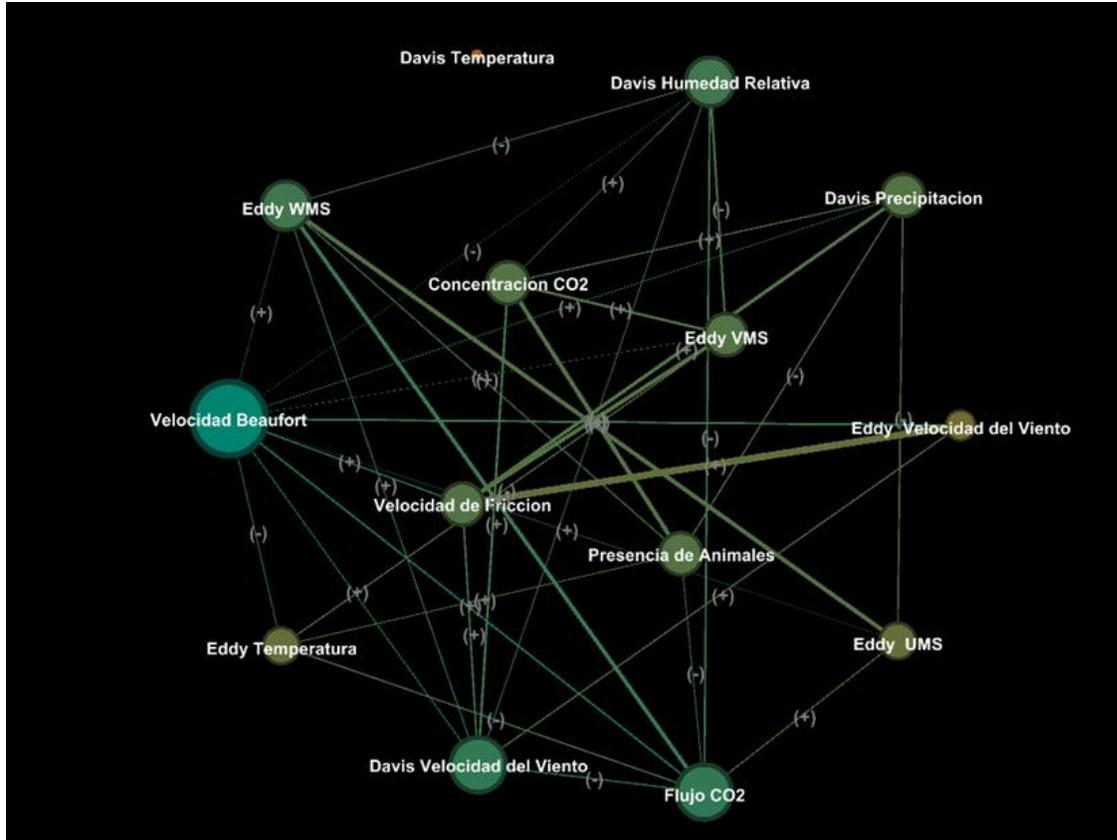
Borja (2008) señala que los problemas de muestreo con los datos son muy específicos de cada sitio experimental y ocurren por las características propias del lugar, que hacen que no exista un código unificado para corregir los problemas; de allí que identificar el tipo de abanderamiento, es un resultado específico para las condiciones evaluadas en el C.I. La Libertad.

La aplicación de los métodos debe examinarse cuidadosamente; los comportamientos físicamente plausibles y los problemas de los instrumentos se superponen en el espacio de los parámetros, subrayando la importancia de la inspección visual para confirmar o denegar las etiquetas o abanderamientos generados, por el conjunto automatizado de pruebas. Los criterios *amplitude resolution*, *higher moments*, *dropouts* y *lag correlation*, están relacionados con la presencia de los animales por la relación existente con la cantidad de datos, pero *spikes*, define el abanderamiento de la presencia animal. Es posible que *discontinuities*, en otras circunstancias, defina la presencia animal.

3.3 Conocimiento Específico

La particularidad del sitio para el análisis y uso de la técnica EC, señaló la necesidad de estudiar la relación entre las condiciones físicas con las variables ambientales, la concentración y flujo de CO₂, y la presencia animal, para las condiciones específicas del agroecosistema bajo estudio y el tipo de sistema EC instalado en el C.I. La Libertad. La discusión acerca de la teoría EC, cuando se trata del sistema *open path* como el instalado, surge por su funcionamiento al medir la torre densidades en vez de concentraciones, las cuales se ven afectadas por variaciones en la temperatura del aire, la velocidad del viento y la concentración de otros gases traza, condiciones que deben ser entendidas para analizar el funcionamiento del sistema EC a partir del agroecosistema como tal y que se presentan en la Figura 3-46.

Figura 3-46. Grafo de relación de cópula gaussiana de interacciones entre diferentes variables meteorológicas con el flujo y concentración de CO₂, y la presencia animal.



En las Figuras 3-47 y 3-48, se presentan los resultados del modelo de cópula gaussiana por medio de grafos inducidos, extractados del grafo que se presenta en la Figura 3-46, donde se observan las interacciones entre diferentes variables. La relación negativa entre la presencia animal, la concentración y el flujo de CO₂, se explica por la cantidad de datos de calidad (trabajables) que son requeridos para la evaluación durante el ciclo día-noche, que tiene una relación positiva para su detección, con la velocidad del viento en el componente W. Los valores positivos entre la velocidad a las diferentes alturas y sus componentes horizontales (U y V), explica la importancia que tiene la rugosidad y la cizalladura sobre la generación de la turbulencia y el fenómeno de transporte sobre la concentración y el flujo de CO₂, y de estos, con el componente vertical (W), el cual explica la detección de la presencia animal.

Figura 3-47. Grafos de relación de cópula gaussiana de interacciones entre la velocidad del viento en diferentes componentes, la temperatura, el flujo y concentración de CO₂, y la presencia animal.

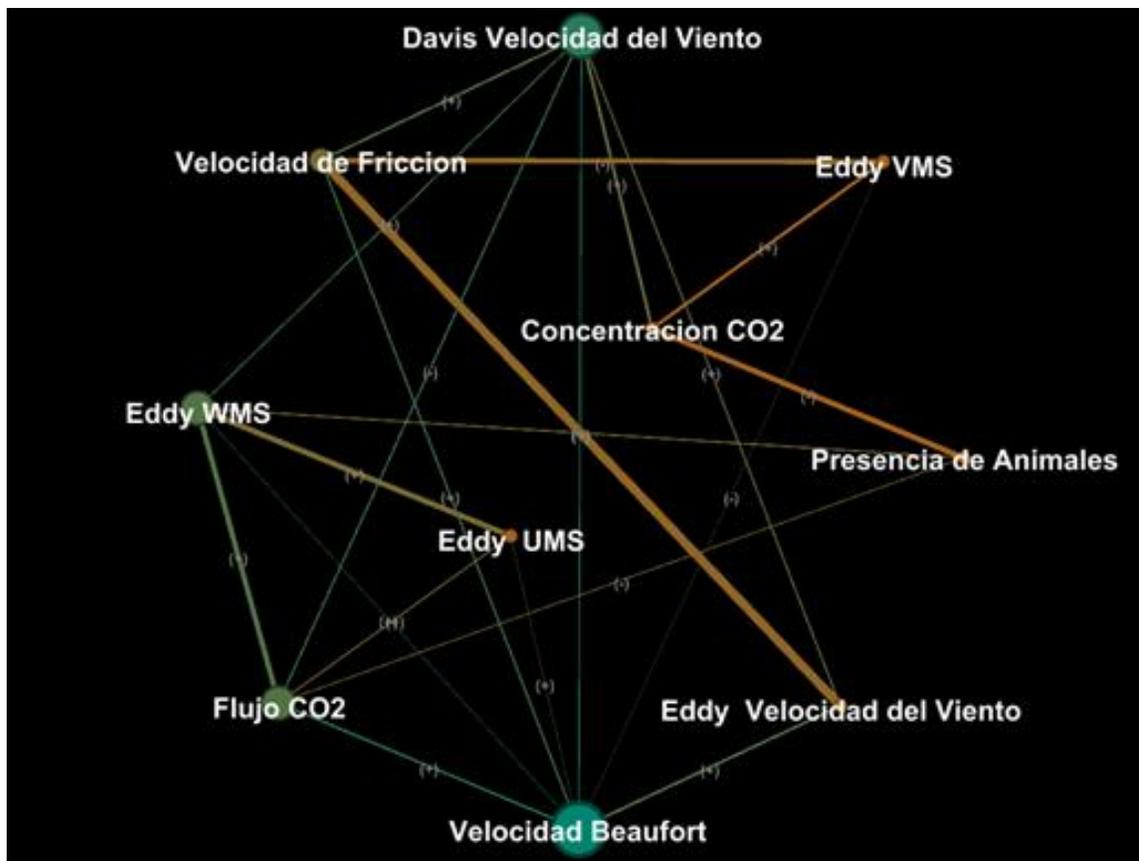
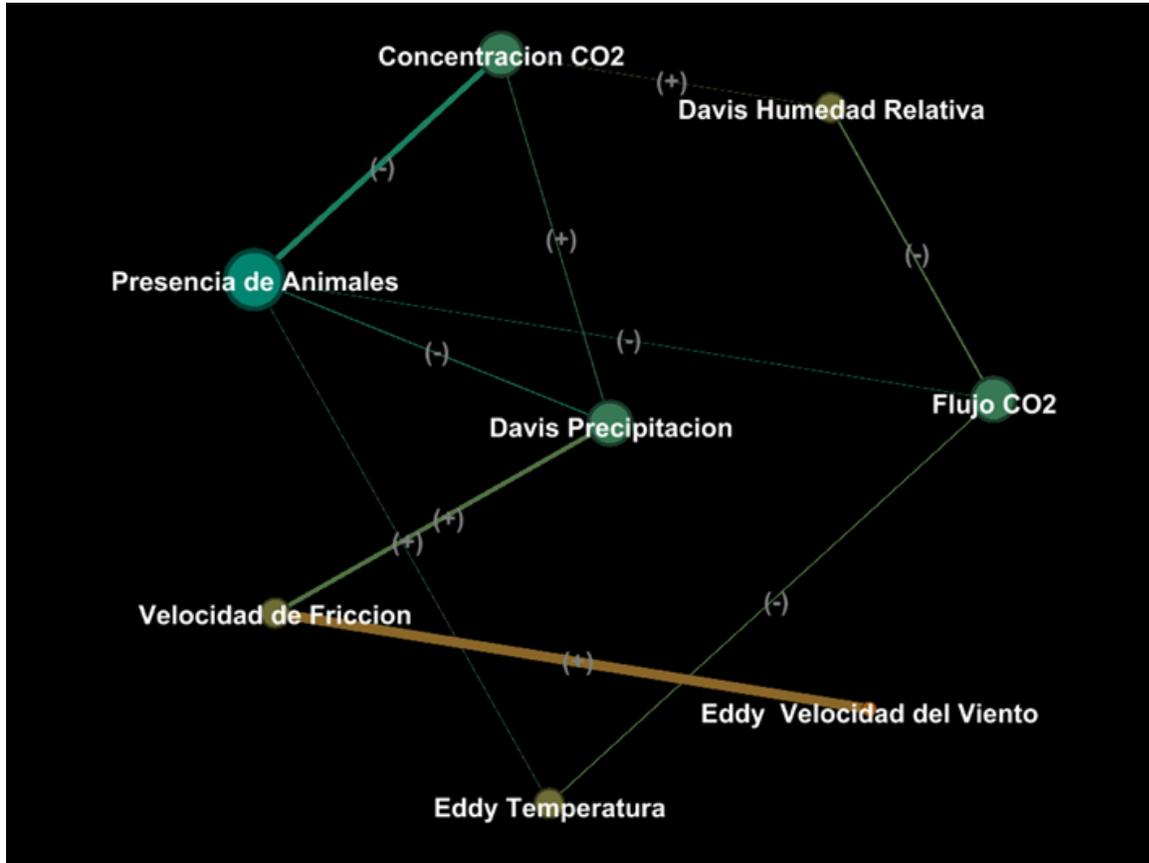


Figura 3-48. Grafos de relación de cópula gaussiana de interacciones entre la velocidad del viento en diferentes componentes, la temperatura, precipitación, humedad, el flujo y concentración de CO₂, y la presencia animal.

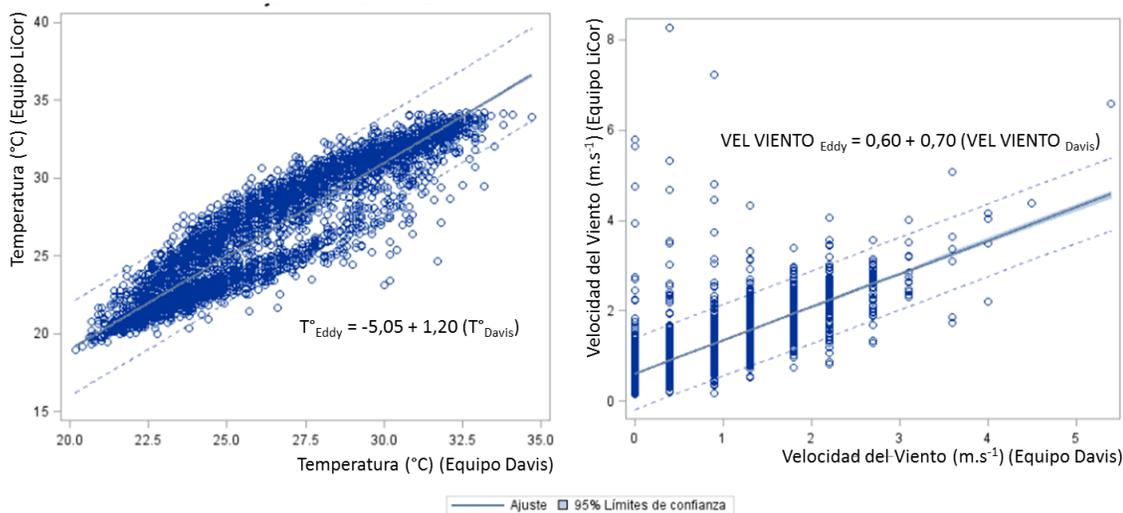


Durante el ciclo día-noche, la humedad relativa es normalmente inversa a la temperatura; cuando esta última aumenta, se incrementa la retención de vapor lo que hace que la humedad relativa disminuya. Valores de humedad relativa por encima del 85% y la precipitación excesiva, afectan el funcionamiento de la torre; fenómeno que se percibe en la captura de información por los transductores (Oh *et al.*, 2011), y que explica el signo negativo encontrado respecto del flujo, a partir del signo positivo de la concentración de CO₂.

La relación entre los sensores de los equipos LiCor y Davis, para las variables temperatura y velocidad del viento, señala que aunque su correlación es positiva y significativa ($p < 0,05$) como se presenta en la Figura 3-49 con valores de 0,96 y 0,77 respectivamente, la

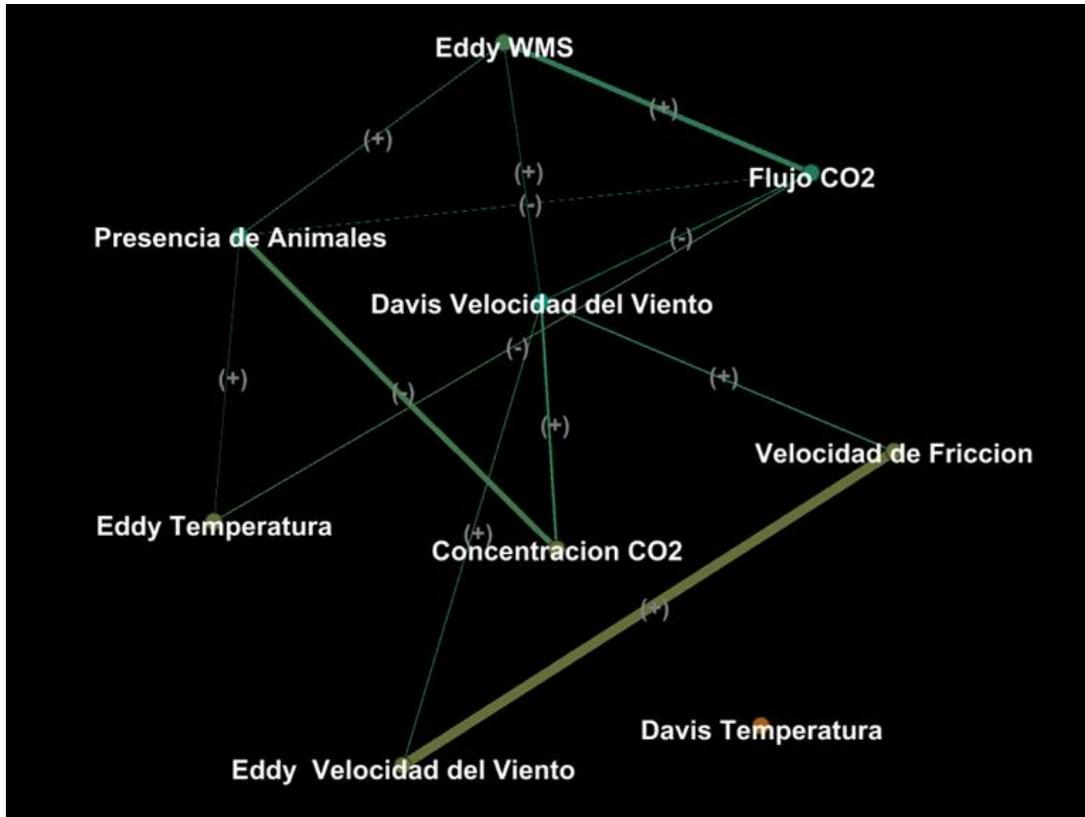
particularidad y el detalle en cuanto a su funcionamiento, no reflejan coherencia en la información capturada en cuanto a la sincronía, pero si consistencia respecto de los datos, como se aprecia en la Figura 3-50.

Figura 3-49. Relación entre los datos capturados por los equipos Davis y LiCor respecto de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la velocidad del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).



Este resultado obedece a la forma como fueron sincronizados los sensores, ya que mientras el equipo LiCor captura información a 20 Hz para estas variables, el equipo Davis lo hace en promedios de 10 min para cada media hora en cuanto a la temperatura y por rachas de 10 min para la velocidad del viento. La regresión y la correlación respectivas, muestran que, aunque existan diferencias en cuanto al proceso de captura, los valores son coherentes y consistentes entre los equipos.

Figura 3-50. Grafo de relación de cópula gaussiana de interacciones para la captura de información entre los equipos Davis y LiCor.



Con el ánimo de analizar el funcionamiento de la torre EC y la estación Davis, a partir del comportamiento de los datos en cuanto a las variables relacionadas con los componentes del viento y la temperatura y su efecto sobre la concentración de CO₂, se estimó un modelo de pronóstico que explicara y describiera, los efectos de las variables explicativas sobre las variables respuesta, a partir de las lecturas de las condiciones del entorno. Se planteó el siguiente modelo:

$$C_{CO_2} = 69,72 - 0,36[E_t] + 0,19[E_w] + 0,71[E_v] - 0,10[D_t] + 0,16[D_{tmx}] - 0,01[D_{hr}] - 0,69[D_v] + 0,04[D_{vmax}] + 0,81[D_{pp}] - 0,14[PA] - 0,01[t] - 0,006[Cos] + 0,03[Sen]$$

donde:

C_{CO_2} : Concentración de CO₂

E_t : Temperatura (°C) medida en el sistema EC

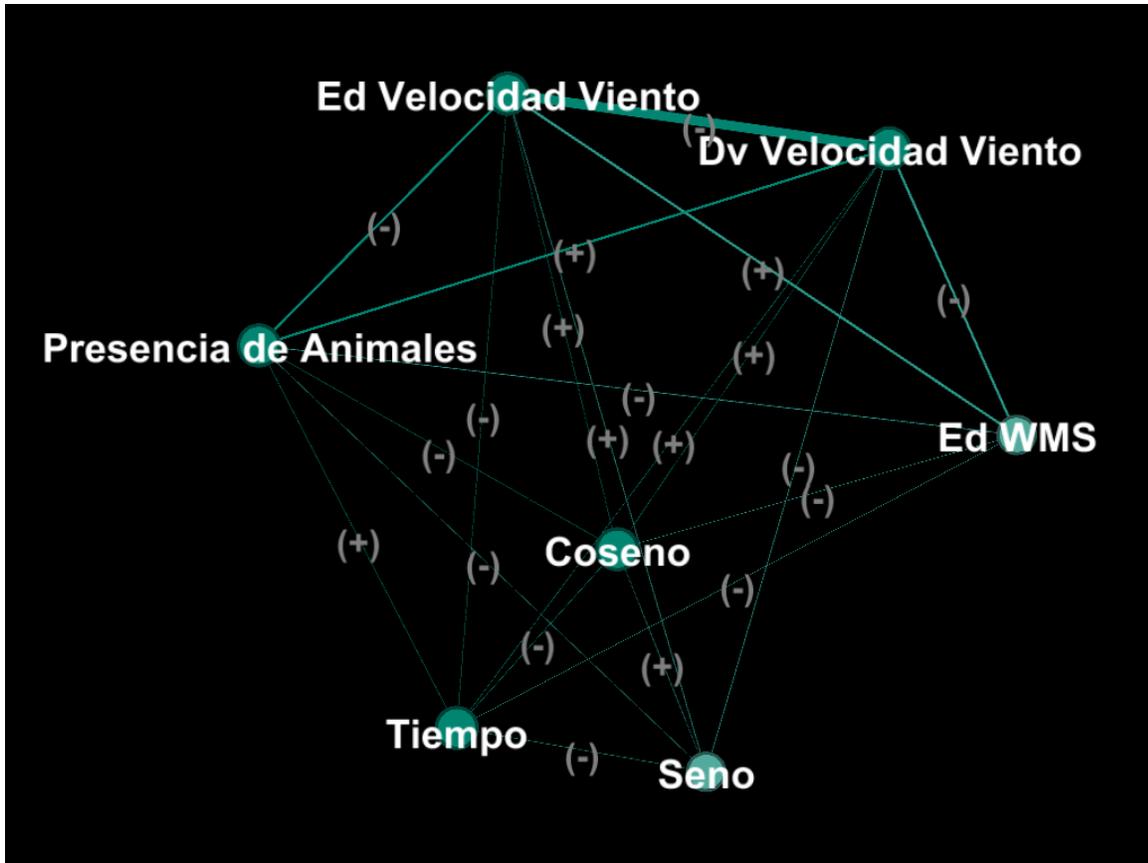
E_w : Velocidad del viento en W (m.s⁻¹) medida en el sistema EC

E_v	: Velocidad del viento ($m.s^{-1}$) medida en el sistema EC
D_t	: Temperatura ($^{\circ}C$) medida en la estación Davis
D_{tmx}	: Temperatura máxima ($^{\circ}C$) medida en la estación Davis
D_{hr}	: Humedad Relativa (%) medida en la estación Davis
D_v	: Velocidad del viento ($m.s^{-1}$) medida en la estación Davis
D_{vmx}	: Velocidad del viento máxima ($m.s^{-1}$) medida en la estación Davis
D_{pp}	: Precipitación (mm) medida en la estación Davis
PA	: Presencia animal
t	: Tiempo (30 min)
Cos	: Coseno
Sen	: Seno

Como se aprecia en la la Figura 3-51, el grafo inducido presenta las relaciones existentes entre los componentes de la velocidad del viento medidos por la estación Davis y el sistema EC, con la velocidad vertical del viento (w).

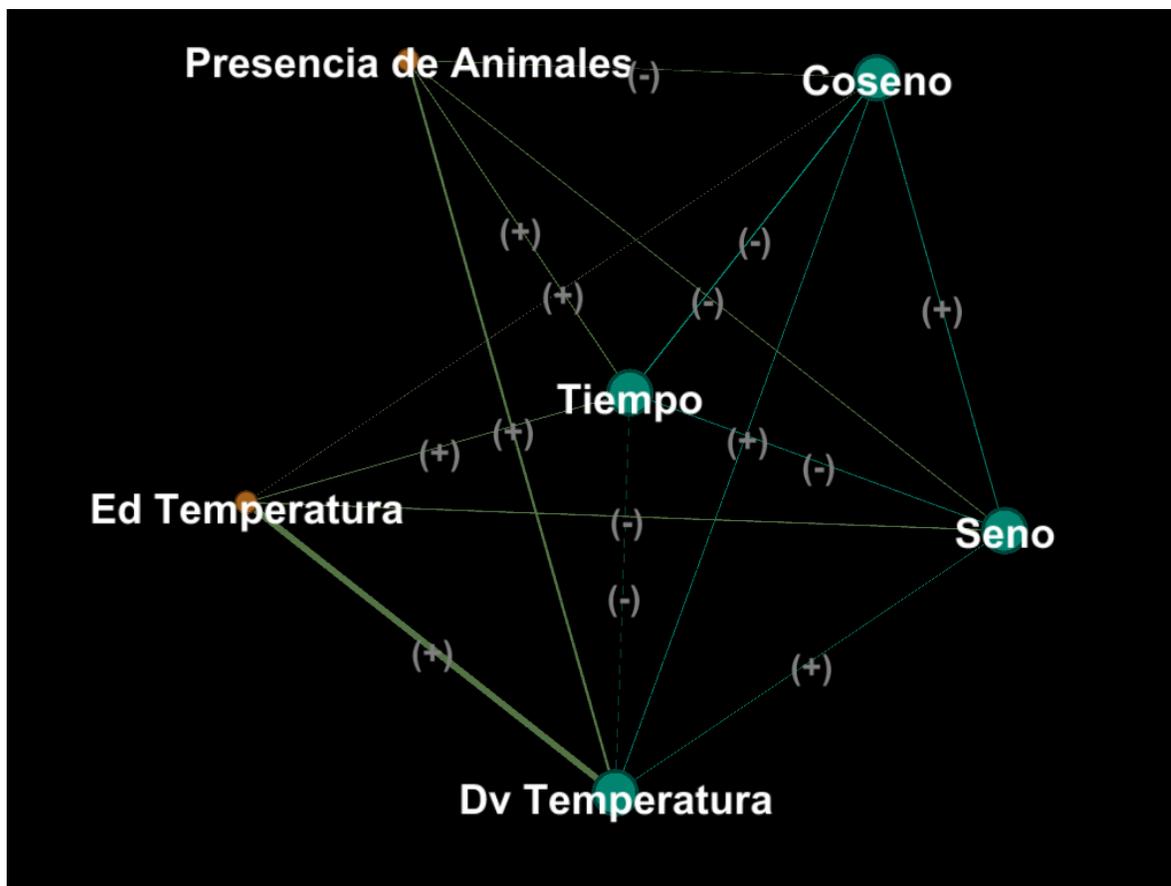
Se encontró un ciclo de relaciones positivas entre la presencia animal y la velocidad del viento tomada por la estación Davis, mientras que fue negativa esa misma relación registrada por el sistema EC; de igual forma, se presentó una relación negativa entre la velocidad vertical del viento registrada por el sistema EC con la velocidad del viento tomada por la estación Davis. Este resultado confirma la explicación presentada concerniente al funcionamiento de los sensores en cuanto a los signos encontrados para la velocidad, señalando la significancia del efecto del sensor en el registro de los datos; diferencias (o posible error aleatorio/sistemático) en cuanto al método de registro de la velocidad del viento, ya que aunque los dos sensores registren la misma variable, no necesariamente miden de la misma manera el efecto, así los datos al final sean consistentes y bajo la suposición que los métodos experimentales y los conceptos teóricos sean los mismos, al obtener durante el registro los mismos resultados.

Figura 3-51. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones para los componentes del viento registrados por los equipos Davis y LiCor en el análisis de la concentración de CO₂.

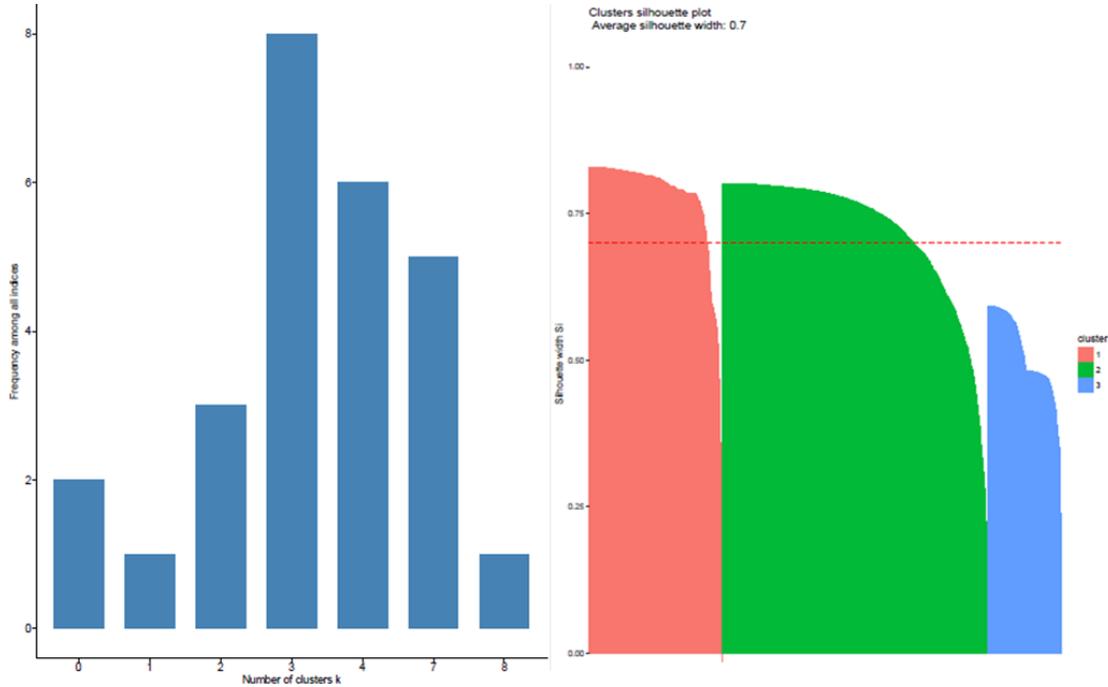


En la figura 3-52, se presenta el grafo inducido con las relaciones existentes entre las temperaturas medidas por el sistema EC y la estación Davis. Se encontraron relaciones positivas entre la presencia animal y la temperatura medida por la estación Davis y el sistema EC, lo que señala la consistencia metodológica para la captura de información por parte de los sensores.

Figura 3-52. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones para la temperatura registrada por los equipos Davis y LiCor en el análisis de la concentración de CO₂.

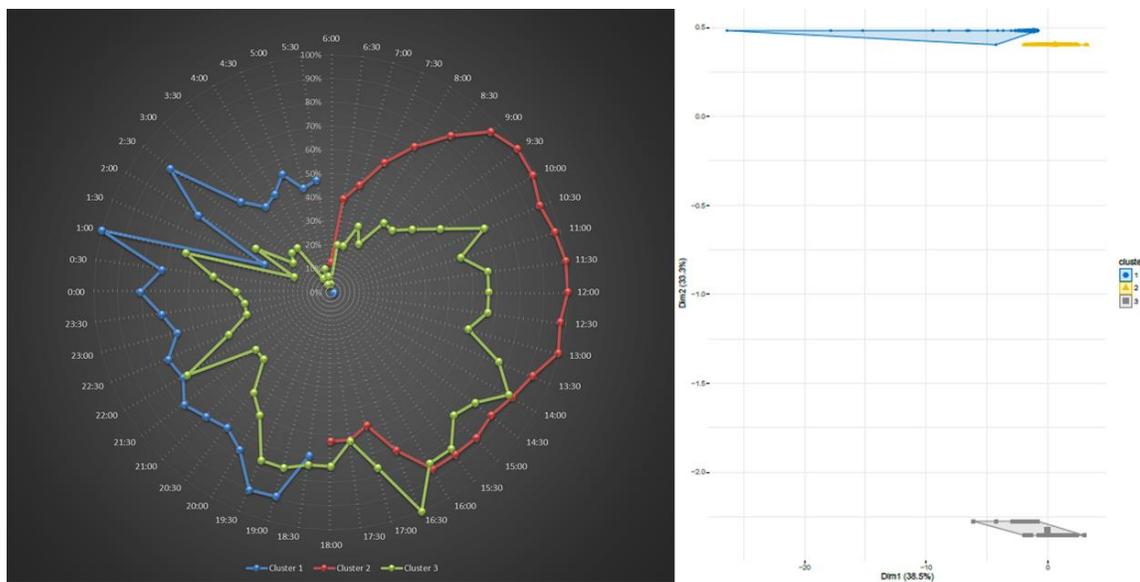


Analizar la presencia animal y el flujo de CO₂, implicó efectuar un análisis de cluster que produjo 3 conjuntos de datos los cuales se ilustran en la Figura 3-53.

Figura 3-53. Análisis de cluster para el flujo de CO₂.

El agrupamiento determinó por su comportamiento, 2 grupos que se caracterizan por la no presencia animal con diferencias por el ciclo día-noche, y un tercer cluster, que se caracteriza por la presencia animal. El cluster 1 presenta 1280 datos en la noche y tan sólo 1 en el día, y el cluster 2, contiene 2466 datos en el día y 65 en la noche; se puede inferir por la frecuencia de los datos, que el cluster 1 se caracteriza por información del ciclo noche, y el cluster 2, por información del día, especificando que ambos agrupamientos cuentan únicamente con información de la no presencia animal. El cluster 3, refleja y caracteriza la presencia del animal en el ciclo día-noche con 702 datos; de los cuales, 412 se presentan en el día y 290 en la noche, como aparece en la Figura 3-54.

Figura 3-54. Relación de agrupamientos para la presencia animal y el flujo de CO₂.



La cantidad de agrupamientos son producto de la histéresis que se produce en el ciclo día-noche derivado de las interacciones (vaca-pastura) que se suceden al interior del agroecosistema (presencia animal). Como se aprecia en la Tabla 3-16, al comparar los cluster 1 y 3, se presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la concentración y el flujo de CO_2 , y la velocidad de fricción. Se observa en los valores presentados no significativos ($p > 0,05$), que en la noche la ausencia de radiación solar y el enfriamiento radiativo de la superficie terrestre, coinciden con fenómenos de estabilidad atmosférica (de viento ligero) que afectan no sólo la aplicabilidad de la técnica, sino que los valores del flujo de CO_2 (respiración) dependerán fundamentalmente de la temperatura. La estabilidad atmosférica puede ser generada por inversión térmica o vientos en calma; el gradiente invertido de temperatura actúa suprimiendo toda mezcla por turbulencia y al fundamentarse la técnica EC en la medida del transporte que se produce por la turbulencia, los remolinos, principales responsables del transporte turbulento, desaparecen, y las medidas de flujos pueden estar subestimadas por la no cuantificación del CO_2 almacenado y posteriormente perdido por advección no cuantificada, lo que hace que sean imprecisos y puedan no corresponder con intercambios en la superficie, al impedir la inversión térmica los intercambios turbulentos (Aubinet *et al.*, 2000; Goulden *et al.*, 1996; Jarvis *et al.*, 1997; Lloyd y Taylor, 1994; Serrano, 2008).

Tabla 3-16. Caracterización física de los agrupamientos para la presencia animal y el flujo de CO₂.

FACTOR	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3		Comparación cluster 1 vs cluster 3			Comparación cluster 2 vs cluster 3		
	Ausencia		Presencia							
	Noche	Día	Día	Noche	Noche		p	Día		p
Número de registros	1.281	2.531	412	290	1.280	290		2.466	412	
Temperatura (°C)	22,16	28,55	29,66	22,51	22,16	22,51	p>0.05	28,55	29,66	p<0.05
Humedad Relativa (%)	87,25	79,39	76,31	85,74	87,25	85,74	p>0.06	79,39	76,31	p<0.05
Precipitación (mm)	0,20	0,11	0,15	0,20	0,20	0,20	p>0.05	0,11	0,15	p>0.05
Radiación Solar (w.m-2)	0,01	406,80	423,63	0,61	-	-	-	406,80	423,63	p<0.05
Velocidad en U (m.s-1)	-	0,14	0,27	0,32	-	0,17	p>0.05	0,27	0,32	p<0.05
Velocidad en V (m.s-1)	0,24	-	0,30	-	0,40	0,23	p>0.05	-	0,30	p<0.05
Velocidad en W (m.s-1)	0,013	0,007	0,003	0,012	0,013	0,012	p>0.05	0,007	0,003	p>0.05
Velocidad del Viento (m.s-1)	0,59	1,12	1,17	0,58	0,59	0,58	p>0.05	1,12	1,17	p<0.05
Velocidad de Fricción (m.s-1)	0,38	0,85	0,87	0,37	0,38	0,37	p<0.05	0,85	0,87	p<0.05
Concentración de CO ₂ (ppm)	435,11	370,71	357,31	419,35	435,11	419,35	p<0.05	370,71	357,31	p<0.05
Flujo de CO ₂ (µgCO ₂ .m-2.h-1)	6.127,84	2.296,86	2.910,36	6.182,40	6.127,84	6.182,40	p<0.05	2.296,86	2.910,36	p<0.05

Al comparar el cluster 2 y 3, se observan diferencias significativas entre las variables temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad en los diferentes planos, velocidad de fricción, concentración y flujo de CO₂; las dinámicas de los flujos de CO₂ dependen directa e indirectamente de la radiación, ya que es la condición física que mejor explica la variación de los flujos de CO₂ diurnos. Por un lado, la radiación solar hace que haya transferencia de energía hacia la atmósfera adyacente desde el suelo; esta transferencia calienta el aire que sube en termal por tener menor densidad (flotabilidad) y baja cuando se enfría, contribuyendo a la mezcla dentro de la capa límite. Por otro lado, la turbulencia depende de la rugosidad de la superficie y las condiciones meteorológicas en términos de la velocidad de fricción y la cizalladura, que establecen el transporte turbulento. (Aubinet *et al.*, 2000; Kowalski *et al.*, 2004; Serrano, 2008; Suyker y Verma, 2001).

El uso de un analizador de gases en el infrarrojo (IRGA) de trayectoria abierta (*open path*) como el utilizado, establece la necesidad de efectuar los cálculos de los flujos de CO₂ con los datos de las mejores características, al ser sensible a errores cometidos, al efectuar los cálculos de la estimación siguiendo la metodología Webb, Pearman y Leuning (1980).

El cálculo del flujo de CO₂ horario diario para el día tipo en la dirección del viento propuesta en presencia y ausencia animal se presenta en la Tabla 3-17; no se cuenta con datos para la presencia animal (en términos horarios) a las 4:00 hrs, y la comparación de los restantes, no presentó diferencias significativas para el tiempo de duración del trabajo. Se ha establecido que los flujos de CO₂ tienen signo positivo cuando van desde la superficie a la

atmósfera, actuando el ecosistema como fuente de CO₂, y signo negativo, cuando van en sentido opuesto, desde la atmósfera hacia la superficie, actuando el ecosistema como sumidero de CO₂. Los valores negativos que se presentan en la Tabla 3-17 y la Figura 3-56, se explican a partir de la tasa de crecimiento de la pastura; sumidero de carbono que hace de los pastos un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico.

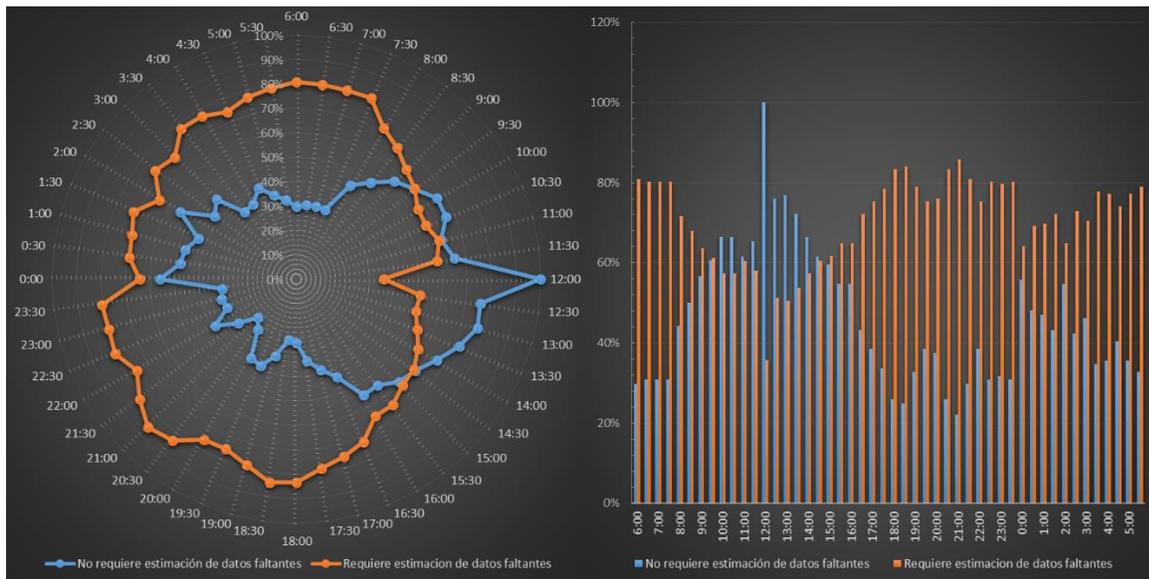
Tabla 3-17. Comparación del flujo de CO₂ diario en presencia y no presencia animal.

HORA	Flujo de CO ₂ (ug.m-2. h-1)					
	General		Presencia animal		No presencia animal	
	N	Valor	N	Valor	N	Valor
0:00	40	13.635,25	8	12.475,64	32	15.630,28
1:00	29	19.996,62	2	9.078,40	27	20.388,56
2:00	23	23.325,20	3	95.282,44	20	24.586,84
3:00	24	18.552,20	2	15.437,94	22	17.553,79
4:00	20	16.951,05	0	NA	20	16.951,05
5:00	31	16.358,82	3	16.544,84	28	17.907,28
6:00	32	12.777,53	3	9.829,71	29	12.800,04
7:00	71	9.492,04	10	6.373,66	61	10.139,33
8:00	123	- 406,47	11	- 4.668,41	112	654,45
9:00	164	1.537,86	17	950,27	147	1.550,81
10:00	177	2.691,11	29	- 90,94	148	3.353,78
11:00	188	4.380,03	25	3.532,02	163	4.805,86
12:00	206	9.891,41	28	7.854,10	178	10.477,62
13:00	197	17.448,59	29	18.892,31	168	17.571,88
14:00	192	15.874,58	36	15.965,84	156	16.056,94
15:00	195	16.418,53	38	12.417,18	157	18.005,54
16:00	175	17.778,28	35	17.216,84	140	17.657,61
17:00	112	16.493,77	23	22.626,78	89	16.367,33
18:00	67	16.444,29	13	34.564,27	54	15.073,38
19:00	57	46.691,95	11	28.062,26	46	46.495,98
20:00	49	15.182,56	10	11.006,70	39	17.248,84
21:00	29	12.693,97	5	22.676,49	24	11.183,46
22:00	35	7.067,67	6	13.186,22	29	6.479,76
23:00	46	12.887,63	8	21.095,25	38	12.887,63
Flujo de CO₂ (ug.m-2. día-1)	344.164,43				351.828,01	

Es importante señalar que un resultado de la prueba integral de calidad fue identificar la necesidad de estimación de información a partir de la confiabilidad de los datos analizados;

como se observa en la Figura 3-55, se presenta la relación horaria de datos a ser estimados (línea naranja) y la confiabilidad de los datos analizados, de donde se infiere las diferencias existentes en el ciclo día-noche. Distintos investigadores sobre trabajos con la técnica EC en diferentes ambientes como bosques tropicales (Jarvis *et al.*, 1997, Pattey *et al.*, 1997, y Loescher *et al.*, 2006), bosques templados (Aubinet *et al.*, 2001, Teklemariam *et al.*, 2009), bosques y praderas (Gu *et al.*, 2005), han señalado y reportado que todos los sitios se vieron afectados significativamente por un error nocturno, el cual requiere de una corrección adecuada, como en este trabajo (Aubinet *et al.*, 2012).

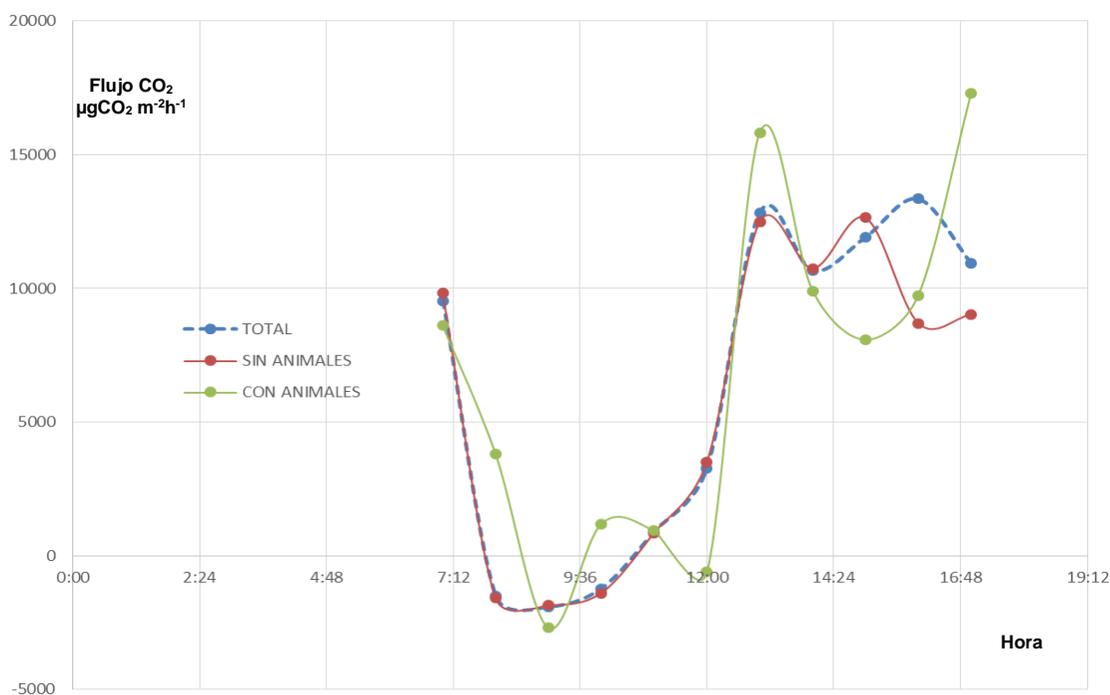
Figura 3-55. Cantidad de datos capturados a ser estimados por calidad.



A partir de los resultados presentados en las Figura 3-26 y 3-55, y la Tabla 3-17, donde se determina la ventana óptima de cálculo y rechazo de datos provenientes de condiciones sin turbulencia suficiente, se comparó el flujo de CO₂ entre las 7:00 y las 17:00, para la estimación de la presencia y no presencia animal, sin que existieran diferencias significativas ($p < 0,05$) para la carga animal propuesta. Es posible que, al usar la totalidad de los datos, exista una subestimación por el tipo de sensor utilizado que lleve, si ésta es del 5%, a valores en el cálculo del flujo de CO₂, hasta con un error del 65% (Serrano *et al.*, 2008).

En ausencia de animales, los valores oscilaron entre $-1853,99 \mu\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (9:00) hasta $12642,15 \mu\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (15:00), mientras que con presencia animal, los rangos se establecieron entre $-2695,13 \mu\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (9:00) hasta $17307,56 \mu\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (17:00), como se aprecia en la Figura 3-56. Temprano en la mañana, se produce un almacenamiento negativo. Entre las 7:30 y 9:30 hrs se produce un almacenamiento negativo que indica un vaciado en la concentración de CO_2 acumulado; el ritmo de tal vaciado aumenta hasta su máximo (sobre las 9 hrs), momento a partir del cual, presenta gran dispersión posiblemente debido a la turbulencia existente durante el día.

Figura 3-56. Comparación del flujo de CO_2 entre las 7:00 a las 17:00 en presencia y no presencia animal.



Las pasturas son un gran sumidero de CO_2 a través de la acumulación de carbono en la materia orgánica y la biomasa viva de las plantas, cantidad de carbono almacenado y estimado en pasturas tropicales entre 16 a $48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Sin embargo, en los Llanos Orientales de Colombia, se calcularon 1,5 a 5 veces más la cantidad de carbono en el suelo (Houghton *et al.*, 1985; Fisher *et al.*, 1994 citado por Botero 2003). Los pasturas juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, por potencial de captura de carbono de

hasta 0,6 Giga-toneladas (Gt) CO₂-e por año (Fisher *et al.*, 1994; Gerber *et al.*, 2013; Zermeño–González *et al.*, 2012). Comparada con las sabanas, las pasturas con base en gramíneas secuestran más carbono en partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable, característica que hace que el carbono esté menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto su pérdida como gas invernadero (Fisher *et al.*, 1994 citado por Botero 2003).

Según Flanagan *et al.* (2002), Miranda *et al.* (1997) y Zermeño *et al.* (2011), las pasturas tienen un gran potencial de asimilación de CO₂ de la atmósfera hacia la superficie vegetal de hasta 18 μmol.m⁻².s⁻¹; según Papale *et al.* (2006) y Zermeño *et al.* (2011), las máximas tasas de flujo de la atmósfera hacia la superficie se presentan entre las 11:00 y las 14:00, que corresponde a la máxima incidencia de radiación.

Tappeiner y Cernusca (1996) reportaron tasas menores de asimilación para un pastizal (7 μmolm⁻².s⁻¹), mientras que para condiciones templadas, Ham y Knapp (1998) observaron tasas de asimilación de hasta 23 μmolm⁻².s⁻¹. Sin embargo, en una pradera con pasto nativo, donde las condiciones de humedad del suelo no fueron limitantes, las tasas de asimilación fueron de hasta 32 μmolm⁻².s⁻¹ (Suyker y Verma, 2001).

Gómez (2015) señala que en agroecosistemas ganaderos existen diferencias significativas entre las coberturas vegetales (bosque natural y potreros) sobre las emisiones de CO₂, con valores de 4,92 Kg.m⁻².año⁻¹ y 3,00 Kg.m⁻².año⁻¹, respectivamente, debido al efecto de la radiación solar sobre las pasturas y el suelo.

Los ecosistemas vegetales constituyen el proceso natural para sustraer CO₂ atmosférico, ya que por medio de la fotosíntesis el carbono es fijado en la estructura vegetal donde se mantiene almacenado por largos periodos de tiempo, lo cual es función de las características de la vegetación y del manejo de la misma pastura (Ordoñez y Masera, 2001; Zermeño *et al.*, 2011). Diversos estudios reportan que el manejo del pastoreo puede incrementar el almacenamiento de carbono en suelos de pasturas en comparación con pastizales excluidos o el sobrepastoreo (Reeder y Schuman, 2002; Schuman *et al.*, 2002; Campbell *et al.*, 2004). Los principales factores que influyen en la captura y acumulación de carbono son los cambios actuales y anteriores en el uso del suelo; el manejo agronómico incluyendo residuos de cosecha y la aplicación y deposición de excretas

animales, la textura del suelo, la composición de la vegetación y el clima (Jones, 2010). Lo anterior señala, que la presencia animal en el marco de este trabajo, corresponde a la interacción entre los animales, la pastura en crecimiento y el manejo dado a la pastura a través del animal.

La presencia de huecos en las series temporales micrometeorológicas son inevitables; el mal funcionamiento de los IRGAs *open path* y los anemómetros sónicos, las calibraciones, los apagados electrónicos y el rechazo de datos, provoca que habitualmente se pierda hasta un 65 % del total de una serie anual (Falge *et al.*, 2001). A partir del resultado en la Figura 3-56 y al considerar que tan sólo se debe estimar el 37,98% de los datos (el 62,02% son considerados para ser analizados), se pueden extraer con la base de datos sin imputar, algunas conclusiones a corto plazo pero no a largo plazo, a no ser que se interpolen los huecos de la serie. Las técnicas de imputación de datos (relleno de huecos) surgen por lo tanto con el objetivo de extraer conclusiones a largo plazo como son los balances anuales; métodos de *gap filling* que permiten rellenar huecos de la serie, toda vez que se tengan variables meteorológicas medidas en el ecosistema, que permiten reconstruir el NEE.

El procedimiento de *Gap Filling* utilizado implicó el cálculo de 5 métodos diferentes para estimar la concentración de CO₂: *Naive Day*, *Naive Day Moving Average*, *Naive Hour*, *Stepwise Regression* y *Artificial Neural Network (ANN)*; y 7 métodos diferentes para imputar los flujos de CO₂: *Naive Day*, *Naive Day Moving Average*, *Naive Hour*, *Stepwise Regression*, *Artificial Neural Network*, *Bayes G-Sel* y *Bayes G-Sel reducido*.

Los métodos se estimaron utilizando en todos los casos el 80% de la muestra de datos marcados como buenos (la cual se denomina *training sample*), dejando el 20% restante para evaluar el pronóstico fuera de muestra (*testing sample*). Las observaciones utilizadas para asignar a cada grupo fueron asignadas aleatoriamente² con el fin de evitar sesgos que pueda haber en los datos en alguna parte de la muestra, calculando en cada caso el Error Predictivo Cuadrático Medio (EPCM), donde y_l corresponde a los datos verdaderos en el *testing sample*, mientras que \hat{y}_l corresponde a las predicciones correspondientes.

² Se utiliza un valor semilla de 1000 para poder replicar los resultados.

Es de notar que para el *Stepwise Regression* solo se calcula el EPCM del modelo escogido, mientras que para los modelos *ANN*, se calculó esta medida para todos los casos y se escogió el que tenía el mínimo posible en cada caso (se toma la mejor *ANN*).

La ecuación estimada por la regresión stepwise es la siguiente:

$$\widehat{F_{CO_2,t}} = 3.89 * 10^{-5} + 4.71 * 10^{-5}Dt + 2.15 * 10^{-8} + \hat{\gamma}D_h + \hat{\delta}D_d$$

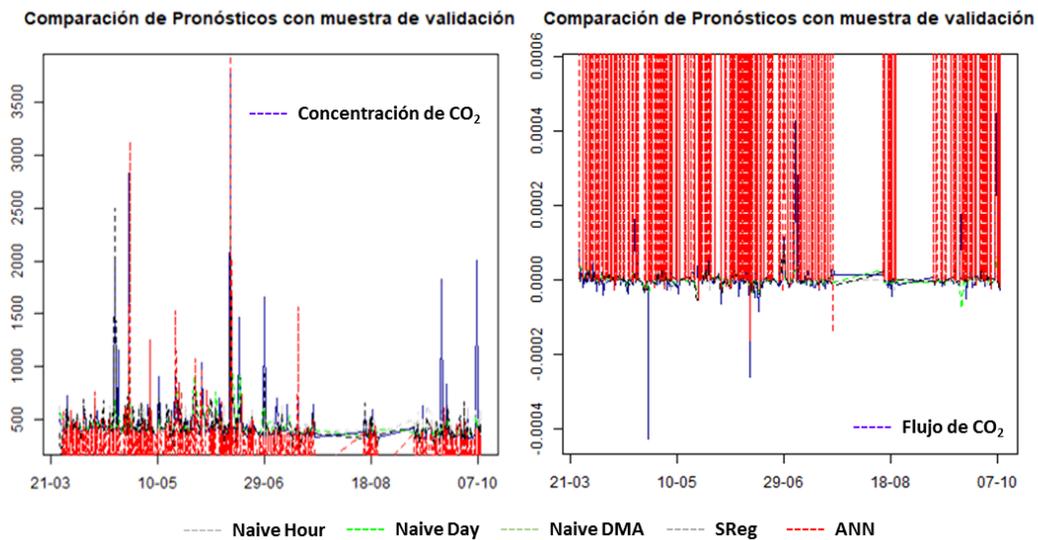
donde

γ, δ : Corresponden a los vectores estimados de efectos fijos por hora y día, respectivamente y no se reportan debido a su extensión.

D_t : Temperatura (°C) medida por la estación Davis.

En la Figura 3-57 se presenta la comparación de pronósticos para la serie de *cross validation* para la concentración de CO_2 .

Figura 3-57. Comparación de pronósticos para toda la serie de cross validation para concentración de CO_2 .



Como puede observarse en los resultados de las Figuras 3-58 y 3-59, la red neuronal no logra capturar adecuadamente los valores de los flujos, esto se debe en gran parte a que el cálculo de los flujos corresponde al de una función lineal, lo cual sugiere que la estimación por un método de regresión es el más apropiado. Por otro lado, la presencia de animales podría afectar las estimaciones de los flujos, por lo tanto, se realiza un análisis comparativo de estos pronósticos separando los datos con presencia y ausencia de animales, el cual se presenta a continuación.

Figura 3-58. Comparación de pronósticos para toda la serie respecto de la concentración de CO₂ para la presencia animal.

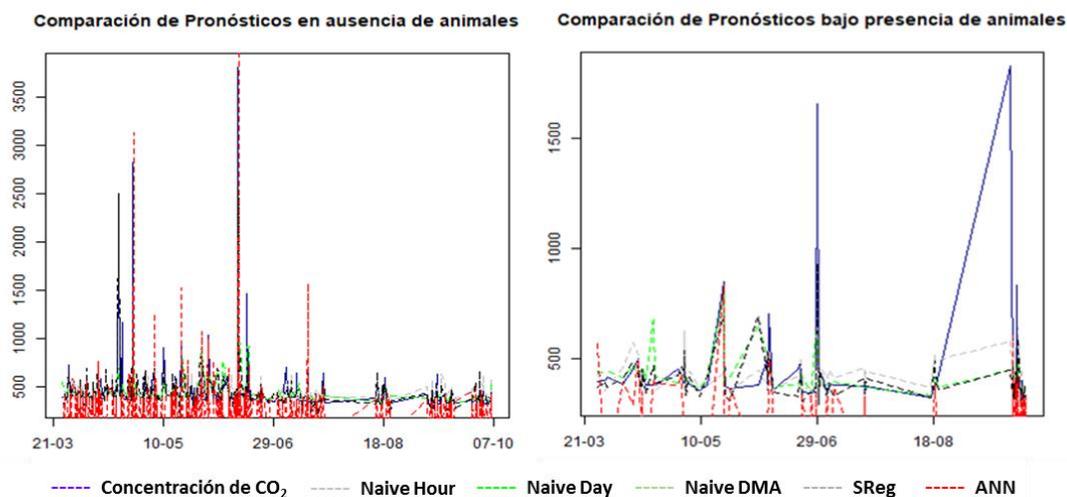
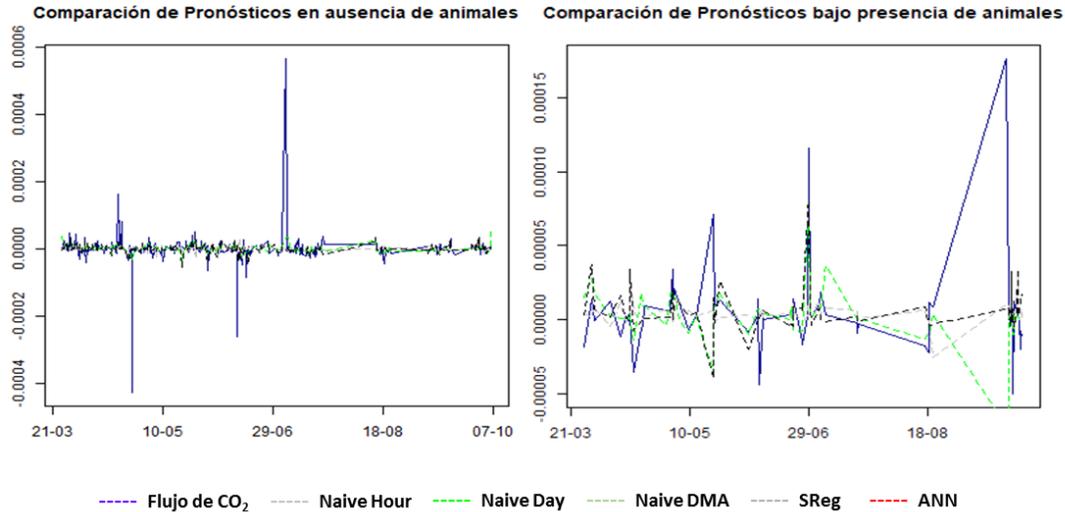


Figura 3-59. Comparación de pronósticos para toda la serie respecto del flujo de CO₂ para la presencia animal.



La distorsión sugiere ser más evidente en las estimaciones de los flujos de CO₂³ que en las estimaciones de concentraciones de CO₂. En particular, el modelo de regresión captura correctamente la tendencia de los datos, pero no su variación, ya que esta procura ajustar el valor promedio de la serie pronosticada dada cierta información en ambos casos; mientras que la red neuronal, permite capturar las variaciones, que en el caso de los flujos, no logra capturar la tendencia de los datos. Una vez completada esta inspección gráfica, es más evidente que los modelos ideales en cada caso no necesariamente son los mismos; lo que hace necesario realizar una comparación a través de una medida de desempeño de pronóstico como lo es el EPCM.

Dados los EPCM calculados para los 5 métodos, se escogió el método para hacer el llenado más sencillo, revisando aquel método que deje el mínimo EPCM (usualmente los naive no son escogidos y solo sirven como comparación), como se presenta en la Tabla 3-18.

³ No se incluyeron las estimaciones del modelo ANN para una mejor lectura de la gráfica.

Tabla 3-18 Error Predictivo Cuadrático Medio para el ejercicio de *cross validation* por método.

Método de imputación	Error Predictivo Cuadrático Medio	
	Flujo de CO₂	Concentración de CO₂
<i>Naive Hora</i>	$2,23 \times 10^{-10}$	9572,74
<i>Naive Dia</i>	$2,10 \times 10^{-10}$	8251,74
<i>Naive Dia Moving Average</i>	$4,63 \times 10^{-11}$	10879,27
<i>Stepwise Regression</i>	$3,90 \times 10^{-12}$	78,76
<i>Mejor ANN⁴</i>	12.93	59,10

Como puede observarse, el mejor modelo para imputar los flujos es el lineal, mientras que, para las concentraciones, la red neuronal tiene un mejor desempeño.

Una vez escogido, se utiliza el modelo correspondiente para llenar los huecos, sin embargo, es de notar que para los métodos 4 y 5, si alguna de las variables de X^* no tiene observaciones para predecir a Y , entonces este dato no podrá ser llenado. Para evitar este problema, los elementos del vector X^* se toman únicamente de los registros de la estación Davis.

El vector X se define para las variables a llenar, concentración y Flujo de CO₂ como:

$X_{\text{Flujo de CO}_2}$: Temperatura externa, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, humedad relativa externa, radiación solar y un efecto fijo por día y por hora.

$X_{\text{Concentración de CO}_2}$:= X_{FCO_2} , presión barométrica y precipitación.

El resultado de la comparación de los EPCM indica que el mejor método de los 5 para hacer el llenado de los datos del flujo es el del modelo lineal, mientras que para la concentración es el modelo ANN. En cada caso, se utiliza el método correspondiente para realizar el llenado.

⁴ Se escogieron las especificaciones con 7, 18 y 2 nodos para cada capa oculta para los flujos de CO₂ y 3, 18 y 20 nodos, para cada capa oculta para las concentraciones de CO₂.

Para describir, explicar y estimar el flujo, se propuso el siguiente modelo:

$$FCO_2 = 622,91 + 0,14[Et] - 24,12[Ew] - 0,80[Ev] + 0,40[Dt] - 0,38[Dtmx] + 0,06[Dhr] \\ - 0,17[Dv] + 0,11[Dvmx] + 0,05[Dpp] - 0,00005[t] - 0,12[PA] + 0,006[Cos] \\ + 0,03[Sen]$$

donde:

F_{CO_2} : Flujo de CO_2

E_t : Temperatura ($^{\circ}C$) medida en el sistema EC

E_w : Velocidad del viento en W ($m.s^{-1}$) medida en el sistema EC

E_v : Velocidad del viento ($m.s^{-1}$) medida en el sistema EC

D_t : Temperatura ($^{\circ}C$) medida en la estación Davis

D_{tmx} : Temperatura máxima ($^{\circ}C$) medida en la estación Davis

D_{hr} : Humedad Relativa (%) medida en la estación Davis

D_v : Velocidad del viento ($m.s^{-1}$) medida en la estación Davis

D_{vmx} : Velocidad del viento máxima ($m.s^{-1}$) medida en la estación Davis

D_{pp} : Precipitación (mm) medida en la estación Davis

PA : Presencia animal

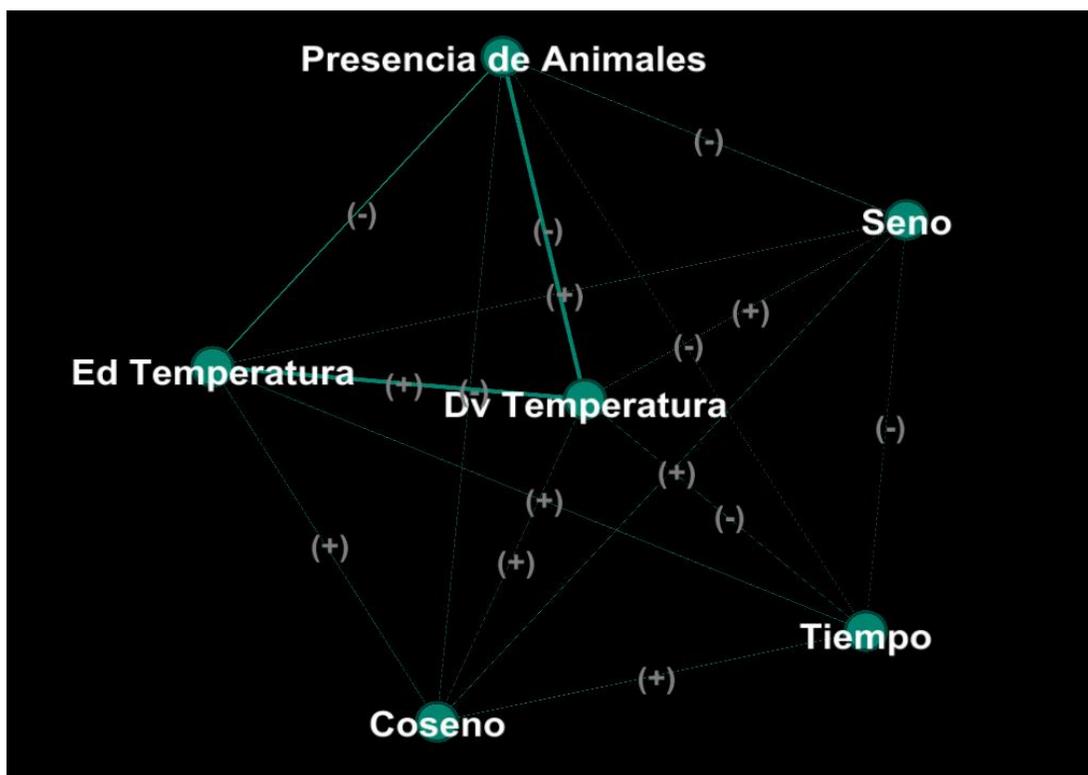
t : Tiempo (30 min)

Cos : Coseno

Sen : Seno

En la Figura 3-60 se presentan las relaciones existentes entre las variables meteorológicas para el efecto de las mismas sobre el Flujo de CO_2 de manera general. Se presentaron relaciones positivas entre la humedad relativa medida por la estación Davis y la temperatura medida por el sistema EC; esta última también presentó una relación positiva con la temperatura y la velocidad del viento medidas por la estación Davis. La presencia del animal tuvo una relación negativa con las temperaturas medidas por el sistema EC y la estación Davis, pero positiva con las velocidades del viento medidas por el sistema EC y la Davis. Además, fue también negativa la relación entre humedad y precipitación medidas por la estación Davis con presencia de animales.

Figura 3-62. Modelo gráfico Bayesiano de relaciones existentes entre las temperaturas para el análisis de comportamiento del Flujo de CO₂.



Se planteó un modelo reducido:

$$FCO_2 = 617,19 + 0,21 [Et] - 1[Ev] + 0,10[Dhr] + 0,0006 [t] - 0,04[PA] + 0,0001 [Cos] + 0,02 [Sen]$$

donde:

F_{CO_2} : Flujo de CO₂

E_t : Temperatura (°C) medida en el sistema EC

E_v : Velocidad del viento (m.s⁻¹) medida en el sistema EC

D_{hr} : Humedad Relativa (%) medida en la estación Davis

D_v : Velocidad del viento (m.s⁻¹) medida en la estación Davis

PA : Presencia animal

t : Tiempo (30 min)

Cos : Coseno

Sen : Seno

parámetros de este modelo reducido fueron estimados utilizando la media a posteriori obtenida bajo *Bayes G-SEL* y el estimador de mínimos cuadrados ordinarios.

Los resultados de la evaluación de la habilidad predictiva mostraron un comportamiento prácticamente idéntico del estimador basado en la media a posteriori obtenida mediante el modelo *Bayes G-SEL* y el estimador de mínimos cuadrados ordinarios para las dos variables respuesta que se consideraron. En el caso, del flujo de CO₂, el desempeño predictivo del modelo completo *Bayes G-SEL* con todas las variables explicativas y su versión reducida varió según el criterio; la correlación predictiva indicó un mejor comportamiento del modelo completo, mientras que el EPCM sugirió un desempeño superior del modelo reducido.

Tabla 3-19. Habilidad Predictiva Modelos Bayes G-SEL.

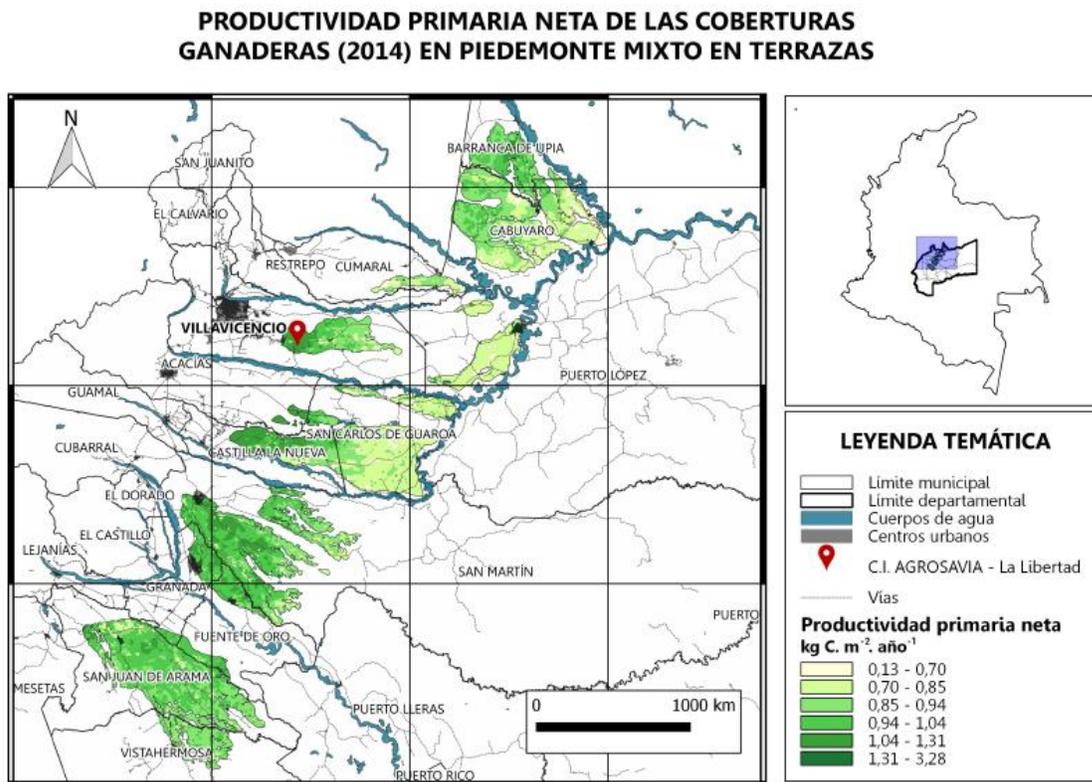
Estimador	Correlación Predictiva	EPCM
<i>Bayes G-SEL</i>	0,6971	3,9416
<i>Stepwise Regression</i>	0,6966	3,9419

3.4 Conocimiento frente al Cambio

La fijación de carbono, es un servicio ecosistémico; componente de la función de producción del predio ganadero que cumple funciones económicas, sociales y ambientales importantes para el bienestar humano, y que se basa en el proceso de transformación del carbono atmosférico a carbono orgánico almacenado en el suelo y en las pasturas. La cantidad de carbono que la pastura puede inmovilizar está relacionado con la Productividad Primaria Neta (NEP), entendida como la acumulación de carbono. El tipo de metabolismo de las gramíneas utilizadas en la producción animal tropical, establece diferentes capacidades de integrar el gas en la materia orgánica de las plantas, la cual es consumida por los animales y gran parte de ella regresa al suelo como heces y orina o son incorporadas directamente al suelo (Botero, 2003). Como se aprecia en la Figura 3-64, en el área representativa del agroecosistema en estudio, a partir de la imagen MODIS, se presentan diferentes niveles de NEP con valores que se establecen entre 0,21 a 1,39 kg C m⁻².año⁻¹,

de lo cual se puede inferir la existencia de diferentes procesos metabólicos, que se pueden relacionar con diferentes tipos de coberturas (modelos de pasturas) que se presentan en el área.

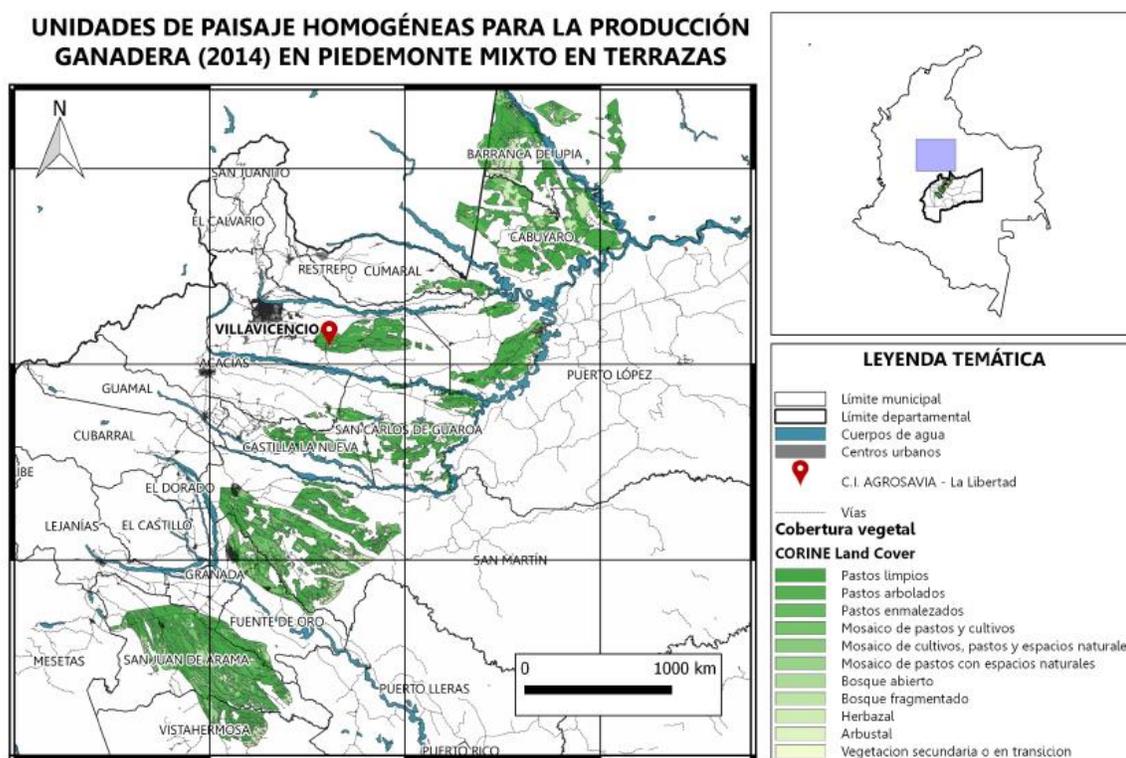
Figura 3-64. Productividad Primaria Neta en las coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).



En pasturas, la producción primaria neta por debajo de la superficie es la mayor fuente de carbono orgánico que entra al suelo, el cual se estima entre el 40 y el 85% de la NEP (Long *et al.*, 1989; citado por Botero 2003). Gómez (2015) reporta que en zonas de pasturas, se evidencian diferentes contenidos de carbono sobre distintos tipos de coberturas, lo que permite inferir que el cambio del uso del suelo es un factor decisivo en los procesos de captura de carbono. De acuerdo con Cerri *et al.* (1991) y Brown *et al.* (1992), citados por Ramos (2003), las altas tasas de producción de raíces de los pastos pueden explicar la alta capacidad de acumulación de carbono por parte de las pasturas, por lo cual el pastoreo conlleva a un mayor secuestro de carbono orgánico del suelo

(Franzluebbers & Stuedemann, 2010, citados por Neal *et al.*, 2013). Lo anterior señala que las pasturas favorecen la acumulación de carbono a través de la incorporación de biomasa, proceso estrechamente relacionado con la renovación por acción del pastoreo (Escobar *et al.*, 1991) y que en áreas de pasturas, dependiendo del tipo de cobertura y su formas de manejo, se determina su potencial de almacenamiento (Gómez, 2015; Ramos, 2003). Como se aprecia en la Figura 3-65, existen diferentes tipos de coberturas ganaderas en el área de influencia del trabajo, que determinan diferentes tipos de procesos productivos (niveles de manejo de los bovinos) lo cual establece distintos niveles en la dinámica de almacenamiento del carbono.

Figura 3-65. Coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).



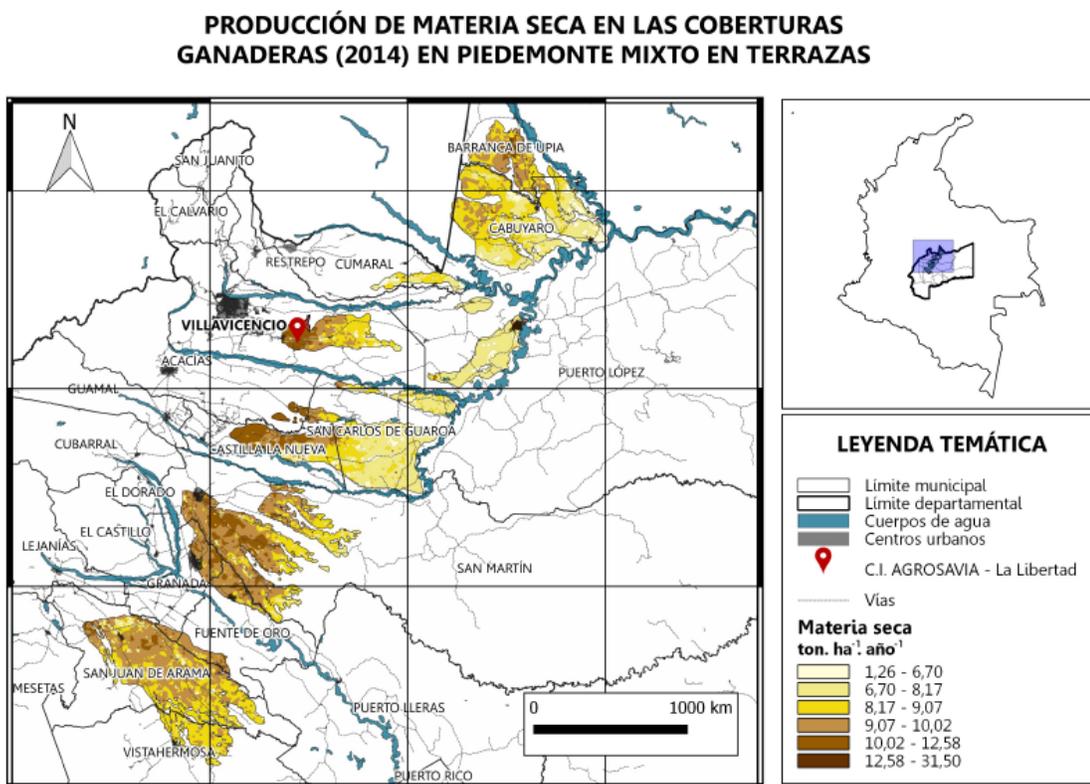
Diferentes estudios realizados demuestran el potencial de almacenamiento de carbono de las pasturas, Manfrinato *et al.*, (2001) encontraron que la conversión del bosque a pastizales aumentó el almacenamiento de carbono en el suelo en los primeros 0,1 m de profundidad; Molina (2011) encontró en potreros valores equivalentes a 25,29 t.ha⁻¹; Ramos (2003) reporta que pasturas mejoradas contienen mayor promedio de carbono orgánico almacenado en comparación con pasturas degradadas y Carvajal (2008) presentó almacenamientos de carbono de 121,89 y 114,13 tC.ha⁻¹ en pastos. Otros

estudios reportan en pastizales bien manejados acumulación de carbono en el suelo en un orden entre 2,7 a 6,0 Mg.ha⁻¹ (Moraes et al, 1996; Neill et al, 1997; Bernoux et al, 1998a; Cerri *et al.*, 1999, 2003; Nunes *et al.*, 2010). De lo anterior se infiere el efecto que el tipo de especie forrajera y su manejo tienen sobre la dinámica del carbono.

El aumento en la captura de GEI por las pasturas, puede tener un gran impacto en la disminución en la concentración de CO₂ en la atmósfera (Fisher *et al.*, 1994). Los GEI se pueden reducir a través de la disminución de las emisiones antropicas de CO₂ o mediante la creación y/o mejoramiento del secuestro de carbono en la biosfera, a lo que las pasturas, dependiendo de su manejo, pueden dar respuesta. Los pastos son un gran potencial no explotado para atenuar el proceso de cambio; la acumulación de CO₂, podrían ser más importante en los mercados de “créditos de carbono” (Petteri, 2002; Albrecht y Kandji, 2003), lo que puede verse reflejado en nuevos objetivos productivos en las explotaciones bovinas, como la venta de este servicio de secuestro de carbono, que podría generar nuevos tipos de beneficios económicos a los agricultores.

La biomasa puede considerarse como una forma de energía solar almacenada, ya que las plantas utilizan esta energía para capturar CO₂ y agua a través de la fotosíntesis; como se aprecia en la Figura 3-66, se presentan diferentes niveles de producción de materia seca que muestran diferentes formas de manejo que los productores establecen sobre sus pasturas, de lo que se infiere que es probable la existencia de diferentes niveles de acumulación de carbono por parte de las pasturas, derivados del tipo y el manejo dado por parte del productor ganadero, que establece múltiples formas y valores de captura de carbono.

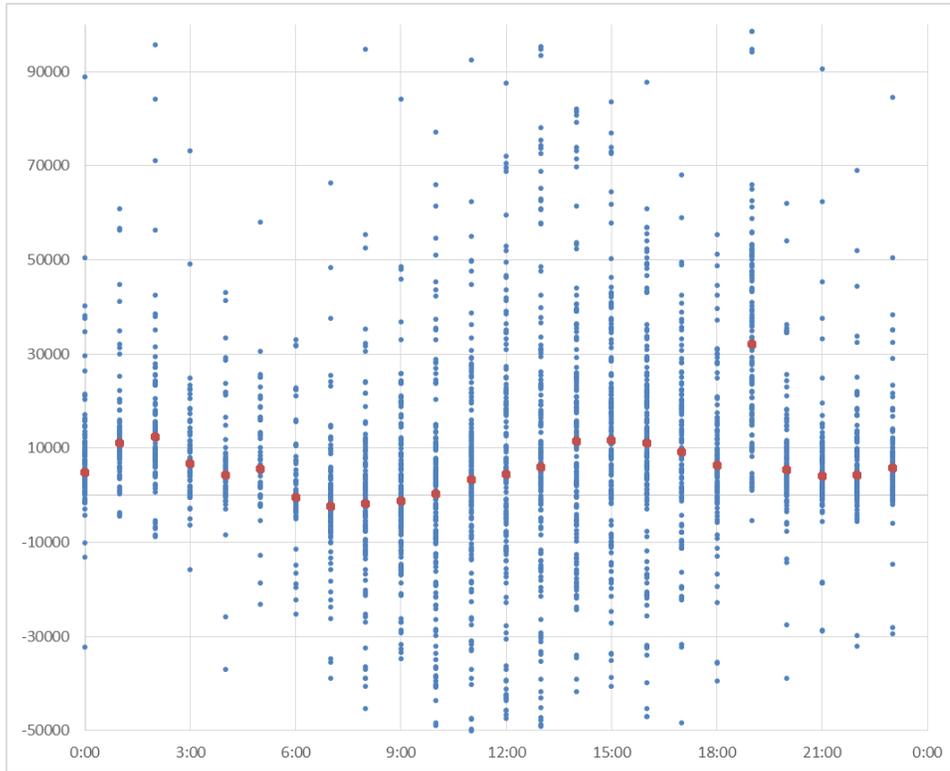
Figura 3-66. Producción de Materia Seca de las coberturas ganaderas en el piedemonte mixto en terrazas (año 2014).



Analizar la dinámica de los procesos que intervienen en el intercambio neto de CO₂ (NEE) contribuye a entender mejor el comportamiento de los agroecosistemas con diferentes tipos de pasturas y estrategias forrajeras, su papel en el balance global de carbono en el contexto del cambio climático, y su relación con los cambios en las condiciones del clima (González *et al.*, 2004; Zermeño *et al.*, 2012). Es entender que, en un agroecosistema, la fotosíntesis lo caracteriza como sumidero y la respiración lo caracteriza como una fuente de CO₂; procesos sensibles a múltiples variables ambientales, tales como la temperatura, la humedad del suelo y los cambios en la radiación, que determinan su especificidad en un contexto de condiciones climáticas, geográficas y ecológicas similares (Aurela *et al.*, 2009; Boisvenue y Running, 2006; Law *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2007). En la Figura 3-67 se observa el NEE estimado por al torre EC, donde la retención neta de CO₂ por el ecosistema se calculó con la diferencia entre la integración de los valores negativos (durante el día) y positivos (durante la noche) de NEE, con un valor promedio en ciclo día-

noche de $9519,46 \mu\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ con valores mínimos de $-102.345,91 \mu\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ y máximos de la tasa instantánea de liberación de $969.464,46 \mu\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ diaria, cuyo comportamiento es correlacionado al de los flujos del CO_2 presentados anteriormente.

Figura 3-67. Estimación del Intercambio Neto del Ecosistema (NEE) para el agroecosistema en estudio ($\mu\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$).



Con torres EC, Dolman et al. (2004) midieron el intercambio neto de CO_2 sobre un bosque y estimaron un secuestro anual de 160 g C m^{-2} ; Li et al. (2005) en una estepa obtuvieron valores de $41 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$; Aurela et al. (2009) en un pantano cuantificaron un secuestro promedio de $31 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y Zermeño-González et al. (2012) en un cultivo de caña con valores de $4,5 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, entre otros, valores que no se encuentran muy alejados del resultado estimado encontrado.

Como lo señala Gorte (2010) y Miquelajauregui (2013), las actividades de manejo así como los regímenes climáticos y sus efectos, pueden afectar el almacenamiento y los flujos. Esta afirmación sumada a lo presentado en este trabajo y reportado por diversos autores al

señalar que el carbono contenido en las pasturas se comporta como un sumidero temporal, hace que las mismas tengan un papel importante en las políticas de mitigación del cambio climático, ya que la fijación por la planta y la consecuente remoción de CO₂ de la atmósfera, rotación por rotación, evidencia que los agroecosistemas pueden tener igual o mayor NEE que los ecosistemas naturales (Barford *et al.*, 2003; Hollinger *et al.*, 2004; Victoria *et al.*, 2010), dependiendo de la relación existente desde la función de producción entre el espacio biofísico/ambiental y el proceso productivo, como modelo tecnológico propuesto por el productor, en este caso el ganadero, razón por la cual es importante conocer con datos tanto la capacidad de las pasturas como sumidero de carbono como el aporte de las otras etapas del proceso de producción (cadena productiva) en la emisión de GEI, para determinar políticas ordenamiento productivo del territorio.

Por lo anterior, la gestión de la información es un paso crítico para la planificación del territorio (Dlamini, 2011); los datos relacionados con el ambiente, como los reportados en esta investigación implementando la técnica EC, son de grandes dimensiones, con interacciones no lineales de gran complejidad entre variables, y con numerosos valores faltantes (Cutler *et al.*, 2007), que al introducirles *CRISP-DM* y el *KDD* permitieron obtener conocimiento a partir de datos almacenados mediante la minería de datos (Lausch *et al.*, 2015); modelo de análisis de las interacciones entre un sistema socioeconómico como lo es la ganadería en un contexto ambiental, social y económico, con los procesos ambientales a través de los flujos energéticos de suministro, regulación y cultural de los servicios ecosistémicos, que cobran relevancia en su aplicación y evaluación en la búsqueda de la generación de políticas públicas y de gestión territorial.

4. Conclusiones

El valor predictivo de la evaluación por medio de la técnica *Eddy Covariance* (EC), requiere ser diseñada y adaptada a las condiciones específicas del área a estudiar; no existe un procedimiento estándar para la remoción de datos espurios o recomendaciones que operen de manera universal para cualquier sitio, ya que las condiciones biofísicas locales, en términos de la temperatura, el ciclo hidrológico y los componentes del viento, presentan diferencias importantes en el *Gap filling*, en las series de tiempo para la concentración y el flujo de CO₂. Si el transporte de masa depende de las condiciones del día y la noche, la temperatura y el viento, la turbulencia y su relación tanto con los fenómenos de transporte de los gases (CO₂) como de la captura y la corrección de los datos atípicos por parte de la torre EC, demuestra la necesidad de adaptar la metodología a las condiciones del entorno que se va a evaluar.

Es posible de forma indirecta utilizar los procesos de Control de Calidad para determinar la presencia bovina como elemento estructural; los datos del animal y su comportamiento a la luz de los abanderamientos, demuestran que su introducción altera el agroecosistema ganadero. La presencia de los animales se relaciona de forma positiva con la velocidad en U, lo que señala la importancia de la cizalladura; los criterios *amplitude resolution*, *higher moments*, *dropouts* y *lag correlation*, están vinculados con la presencia de los animales por la relación existente con la cantidad de datos, pero *spikes*, a partir del abanderamiento, define su existencia. Es probable que *discontinuities*, en otras circunstancias, defina la presencia animal.

Los valores positivos entre la velocidad a las diferentes alturas y sus componentes horizontales (U y V), explican la importancia que tiene la rugosidad y la cizalladura sobre la generación de la turbulencia y el fenómeno de transporte sobre la concentración y el flujo de CO₂, y de estos, con el componente vertical (W), el cual explica la detección de los animales y su relación positiva con la cantidad de datos de calidad (trabajables) que son requeridos para la evaluación durante el ciclo día-noche; con una relación negativa entre la presencia animal, la concentración y el flujo de CO₂.

Se encontraron diferencias significativas entre el día y la noche, donde la calidad de los datos nocturnos no permite cerrar el balance o tener una validez representativa para estimar valores de flujo de CO₂ característicos, resultado de los problemas de turbulencia por velocidad del viento y temperatura. El mejor periodo de captura de información válida se encuentra entre las 9:30 y las 14:30 hrs, con un comportamiento de la pastura como sumidero entre las 6:30 y 11:00 hrs. La ausencia de radiación solar y el enfriamiento radiativo de la superficie terrestre en las noches, coinciden con fenómenos de estabilidad atmosférica que afectan no sólo la aplicabilidad de la técnica, sino que los valores del flujo de CO₂ (respiración) dependerán fundamentalmente de la temperatura.

Para los flujos y concentraciones de CO₂, se señala que con la carga animal propuesta de al menos 2 UGG para el periodo de evaluación y durante las horas del día comparables, no se presentan diferencias entre la presencia y no presencia del animal; respuesta del entorno frente a la captura y emisión, que se presenta como insumo para tomadores de decisiones, al proponer elementos de ordenamiento productivo y políticas públicas. Analizar la dinámica de los procesos que intervienen en el intercambio neto de CO₂ en agroecosistemas con pasturas, hace que los mismos tengan un papel importante en las políticas de mitigación del cambio climático; la fijación por la planta y la consecuente remoción de CO₂ de la atmósfera, rotación por rotación, evidencia que los agroecosistemas pueden tener igual o mayor NEE que los ecosistemas naturales.

Bibliografía

- Abraha, M., Chen, J., Chu, H., Zenone, T., John, R., Su, Y., & Robertson, G. P. (2015). Evapotranspiration of annual and perennial biofuel crops in a variable climate. *GCB Bioenergy*, 7(6), 1344-1356.
- Acuña Martínez, J. R. (2016). Contribución de la Gestión del Conocimiento y el Aprendizaje al Desarrollo de Capacidades Organizacionales bajo la Influencia de la Plataforma. *Talentum*.
- Adhikari, A. & Adhikari, J. (2015). *Advances in Knowledge Discovery in Databases. Intelligent Systems Reference Library 79*. doi: 10.1007/978-3-319-13212-9.
- Adleman, J., Gillan, C., Caissie, A., Davis, C. A., Liszewski, B., McNiven, A., & Giuliani, M. (2017). Development of a Quality and Safety Competency Curriculum for Radiation Oncology Residency: An International Delphi Study. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 98(2), 428-437.
- Aguilar, E. M. (2012). *Análisis químico-nutricional de forrajes y estimación de emisiones de metano en ganado bovino en el ejido Emiliano Zapata, Tecpatan, Chiapas*. México: Instituto tecnológico de Tuxla Gutiérrez.
- Aguilar, M. A., & Vergara, V. A. (2016). *Propuesta para la Creación de una Nueva Categoría de Área Protegida Denominada Agroecosistema Sostenible: Estudio de Caso Finca La Argelita (Viotá, Cundinamarca)*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Aguirre Méndez, S. A. y Chiappe Hernández, M. C. (2007). *Evaluación de la sostenibilidad en predios hortícolas salteños*. Almería, España: I Seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores.
- Albicette, M., Brasesco, R., y Chiappe, M. (2009). Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 13(1), 48-68.
- Albornoz, O., y Jiménez, E (2008). Ciencia y desarrollo: evolución de la cultura y comunidad académica en Venezuela durante el gobierno de la revolución bolivariana

- socialista. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 16(1), 233-267.
- Albrecht, A.; Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agro-forestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3): 15-27.
- Alemu A, Docec R, Dick A, Basarab J Kröbel R, Haugen K Baron V. (2016). Effect of Winter feeding systems on farm greenhouse gas emissions. *Agricultural Systems* 2016; 148, 28-37.
- Allain, S., Plumecocq, G., & Leenhardt, D. (2017). How Do Multi-criteria Assessments Address Landscape-level Problems? A Review of Studies and Practices. *Ecological Economics*, 136, 282-295. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.011.
- Allen, R.G. 1992. *Evaluation of a temperature difference method for computing grass reference evapotranspiration*. Reporte preparado para el Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas de la Dirección de Fomento de Recursos de Tierras y Aguas de la FAO, Roma, 50 p.
- Allen, R.G., 1995. *Evaluation of procedures for estimating grass reference evapotranspiration using air temperature data only*. Reporte Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas de la Dirección de Fomento de Recursos de Tierra y Agua de la FAO, Roma.
- Alonso, B., y Valladares, F. (2006). Bases de datos y metadatos en ecología: compartir para investigar en cambio global. *Revista Ecosistemas*, 15(2).
- Altieri, M. A. (1992). "¿Por qué estudiar la agricultura tradicional?". Agroecología y Desarrollo CLADES.
- Altieri, M. A. (1993). *Agroecología: bases científicas de la agricultura sostenible*. Valparaíso, Chile: CEPAL.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Uruguay: Edit. Nordan-Comunidad.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74(1), 19-31.
- Altieri, M. A. (2002). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables*. En: SARANDÓN, Santiago J. (Ed.). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires: Ediciones Científicas Americanas, 2002. p. 49-56.
- Altieri, M. A. (2013). Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. *Agroecología y resiliencia*

- socioecológica: adaptándose al cambio climático (Nicholls CI, Ríos LA, Altieri MA, eds). *Proyecto Redagres. Medellín, Colombia*, 94-104.
- Altieri, M. & Nicholls, C. I. (2000). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Primera Edición. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. México: PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Alvarado, A., Paredes, L., y Capriles, M. (2002). Estudio funcional de pequeños sistemas doble propósito en el municipio Torres del estado Lara (estudio de casos). *Revista Científica*, 12(Suplemento II).
- Álvarez, M., Álvarez, L., & Vázquez, C. R. (2017). Visualización científica de datos geodésicos en presas de tierra, caso Embalse Palmarito. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 38(1), 86-100.
- Álvarez, D. & Montoya M. (2015). La biblioteca pública como sistema. Aportes a la comprensión de su condición organizacional/The Public Library as a System. Contributions for Understanding its Organizational Condition. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 38(1), 55.C22.
- Álvarez-Salas, L. M., Polanco-Echeverry, D. N., y Ríos-Osorio, L. (2014). Reflexiones acerca de los aspectos epistemológicos de la agroecología. Cuadernos de Desarrollo Rural. *International Journal of Rural Development*, 11(74), 20.
- Amekawa, Y., Sseguya, H., Onzere, S., & Carranza, I. (2010). Delineating the Multifunctional Role of Agroecological Practices: Toward Sustainable Livelihoods for Smallholder Farmers in Developing Countries. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34(2), 202-228.
- Amiro B. (2001). Paired-tower measurements of carbon and energy fluxes following disturbance in the boreal forest. *Global Change Biology* 7:253-268.
- Amundson, R., Stern, L., Baisden, T., y Wang, Y. (1998). The isotopic composition of soil and soil-respired CO₂. *Geodermatology*, 82: 83–114.
- Andersson, A., Rutgersson, A., & Sahlée, E. (2016). Using eddy covariance to estimate air-sea gas transfer velocity for oxygen. *Journal of Marine Systems*, 159, 67-75.
- Anderson, R.G., Alfieri, J.G., Tirado-Corbalá, R., Gartung, J., McKee, L.G., Prueger, J.H., ... Kustas, W.P. (2017). Assessing FAO-56 dual crop coefficients using eddy covariance flux partitioning. *Agricultural Water Management*, 179, 92-102. doi: 10.1016/j.agwat.2016.07.027.
- Anderson, N. M., Ford, R. M., & Williams, K. J. (2017). Contested beliefs about land-use

- are associated with divergent representations of a rural landscape as place. *Landscape and Urban Planning*, 157, 75-89.
- Andreu, A., Graf, A., Polo, M.J., y González-Dugo, M.P. (2013). Medida de flujos de energía en superficie en un sistema adhesado y análisis de su distribución espacial con vistas a la integración con sensores remotos. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, 11, 211-217.
- Anlló, G., Bisang, R., y Katz, J. (2015). Aprendiendo con el agro argentino. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Anónimo (2016). Peer review report 2 On “Assessing carbón dynamics at high and low rainfall agricultural sites in the inland Pacific Northwest US using the eddy covariance method”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217, 143-144.
- Anthoni P., Knohl, C. Rebmann, A. Freibauer, M. Mund, W. Ziegler, O. Kolle y D. Schulze. (2004). Forest and agricultural land-use-dependent CO₂ exchange in Turingia, Germany. *Global Change Biology* 10: 2005-2019.
- Aouade, G., Ezzahar, J., Amenzou, N., Er-Raki, S., Benkaddour, A., Khabba, S. & Jarlan, L. (2016). Combining stable isotopes, Eddy Covariance system and meteorological measurements for partitioning evapotranspiration, of winter wheat, into soil evaporation and plant transpiration in a semi-arid región. *Agricultural Water Management*, 177, 181-192. doi: 10.1016/j.agwat.2016.07.021.
- Armenteras, D., González, T. M., Luque, F. J., López, D., y Rodríguez, N. (2016). Methodology for Evaluating the Quality of Ecosystem Maps: A Case Study in the Andes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(8), 144.
- Arcade, J., Godet, M., Meunier, F., Roubelat, F., & Mendieta, M. (2004). *Análisis estructural con el método MICMAC, y estrategia de los actores con el método MACTOR*. Buenos Aires: BCNA.
- Arguello, C. S., Fiallos, L. R., Chinchuela, M. F., Díaz, P. B., Verdugo, C. M., Jara, C. A., & Quezada, M. I. (2017). Rentabilidad y sostenibilidad económica, ambiental y social en áreas protegidas aseguradas a través del modelo de gestión estudio de caso: refugios Carrel y Whympner reserva Chimborazo. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(2).
- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Revista Ecosistemas*, 25(1), 83-89.
- Arrignon J. (1987). *Agro-écologie des zones arides et sub-humides*. Editions G.-P. Paris: Mazonneuve & Larose et ACCT.

- Arqhys, (2012). Conocimiento general. *Revista ARQHYS.com*. Obtenido 04, 2017, Recuperado de: <http://www.arqhys.com/arquitectura/especifico-general.html>.
- Arya, S. P. (1988). Introduction to micrometeorology. London, Academic Press.
- Astier, M (2006). Medición de la sustentabilidad en sistemas agroecológicos. En *Acta del VII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Zaragoza.
- Aubinet, M., Heinesch, B., and Yernaux, M. (2003). Horizontal and Vertical CO₂ Advection In A Sloping Forest, *Boundary-Layer Meteorol.*, 108, 397–417,
- Aubinet, M., Feigenwinter, C., Heinesch, B., Laffineur, Q., Papale, D., Reichstein, M., y Van Gorsel, E. (2012). *Nighttime flux correction*. In *Eddy Covariance* (pp. 133-157). Netherlands: Springer.
- Aubinet, M., Vesala, T., & Papale, D. (2012). *Eddy Covariance: A practical guide to measurement and data analysis*. Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-2351-1.
- Aurela, M., A. Lohila, J.-P. Tuovinen, J. Hatakka, T. Riutta, T. Laurila. (2009). Carbon dioxide exchange on a northern boreal fen. *Boreal Environment Research* 14: 699-710.
- Austrheim, G., Speed, J., Evju, M., Hester, A., Holand, Ø., Loe, L., ...Mysterud, A. (2016). Synergies and trade-offs between ecosystem services in an alpine ecosystem grazed by sheep – An experimental approach. *Basic and Applied Ecology*, 17(7), 596-608.
- Avery, L. A. (2010). *A New House with a 1950s Foundation: The Complex Adaptive System Theory of the Organization related to Dr. W. Edwards Deming's Theory of Profound Knowledge*. Proceedings of the Northeast Business y Economics Association.
- Bai, M., Flesch, T. K., Mcginn, S. M., & Chen, D. (2015). A Snapshot of Greenhouse Gas Emissions from a Cattle Feedlot. *Journal of Environment Quality*, 44(6), 1974.
- Baker, J., & Griffis, T. (2005). Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using *Eddy Covariance* and mass balance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128 (3-4), 163-177.
- Balbontín-Nesvara, C., Calera-Belmonte, A., González-Piqueras, J., Campos-Rodríguez, I., López-González, M. L., y Torres-Prieto, E. (2010). Comparación de los sistemas covarianza y relación de Bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semi-árido. *Agrociencia* 45, 87-103.
- Baldocchi, D. D. (2003). Assessing the Eddy Covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology*, 9(4), 479-492.
- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., ... Wofsy, S. (2001).

- FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem–Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(11), 2415-2434.
- Baldocchi, D. (2014). Measuring fluxes of trace gases and energy between ecosystems and the atmosphere – the state and future of the eddy covariance method. *Global Change Biology*, 20(1), 3600–3609, doi: 10.1111/gcb.12649.
- Baldocchi, D. (2016). Lecture 5 Micrometeorological Flux Measurements, Eddy Covariance, Implementation, Part 3, Errors, Uncertainties, Flux Partitioning and Gap Filling. *ESPM 228, Advanced Topics in Biometeorology and Micrometeorology*, 642-2874.
- Ballesteros, D. & Ballesteros P. (2008). Análisis estructural prospectivo aplicado al sistema logístico. *Scientia et technica*, 2(39), 194-199.
- Balmford, A., Fisher, B., Green, R. E., Naidoo, R., Strassburg, B., Turner, R. K., & Rodrigues, A. S (2010). Bringing Ecosystem Services into the Real World: An Operational Framework for Assessing the Economic Consequences of Losing Wild Nature. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 161-175. doi:10.1007/s10640-010-9413-2.
- Balzarolo, M., Vicca, S., Nguy-Robertson, A., Bonal, D., Elbers, J., Fu, Y., & Veroustraete, F. (2016). Matching the phenology of Net Ecosystem Exchange and vegetation indices estimated with MODIS and FLUXNET in-situ observations. *Remote Sensing of Environment*, 174, 290-300.
- Baral, H., Keenan, R. J., Fox, J. C., Stork, N. E., & Kasel, S. (2013). Spatial assessment of ecosystem goods and services in complex production landscapes: A case study from south-eastern Australia. *Ecological Complexity*, 13, 35-45.
- Barataud, F., Aubry, C., Wezel, A y Mundler, P. 2014. Management of drinking water catchment areas in cooperation with agricultura and the specific role of organic farming. Experiences from Germany and France. *Land Use Policy* 36, 585– 594.
- Barford, C. C., Wofsy, S. C., Goulden, M. L., Munger, J. W., Pyle, E. H., Urbanski, S. P., & Moore, K. (2001). Factors controlling long-and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest. *Science*, 294(5547), 1688-1691.
- Barford, C.C., S.C. Wofsy, M.L. Goulden, J.W. Munger, P.E. Hammond, S.P. Urbanski, L. Hutyrá, S.R. Saleska, D. Fitzjarrald, K. Moore. (2003). Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a midlatitude forest. *Science* 294: 1688–1691.

- Barr, A.G., K. Morgenstern, T.A. Black, J.H. McCaughey, Z. Nestic. 2006. Surface energy balance closure by the eddy-covariance method above three boreal forest stands and implications for the measurement of the CO₂ flux. *Agricultural and Forest Meteorology* 140 (1-4): 322-337.
- Barr, A.G., T.A. Black, E.H. Hogg, N. Kljun, K. Morgenstern, Z. Nestic. 2004. Inter-annual variability in the leaf area index of a boreal aspen-hazelnut forest in relation to net ecosystem production. *Agricultural and Forest Meteorology* 126 (3-4): 237-255.
- Barral, M. P., Benayas, J. M., Meli, P., y Maceira, N. O (2015). Quantifying the impacts of ecological restoration on biodiversity and ecosystem services in agroecosystems: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 202, 223-231. doi:10.1016/j.agee.2015.01.009.
- Batalden, P. B. & Nelson, E. C. (1990). Hospital quality: patient, physician and employee judgements. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 3(4).
- Batini, C., Cappiello, C., Francalanci, C. & Maurino, A. (2009). Methodologies for Data Quality Assessment and Improvement. *ACM Computing Surveys*, 41(3). doi 10.1145/1541880.1541883.
- Batzer, D. P., & Sharitz, R. R. (2006). *Ecology of freshwater and estuarine wetlands*. Berkeley: University of California Press.
- Behdarvand, N., Kaboli, M., Ahmadi, M., Nourani, E., Mahini, A. S., & Aghbolaghi, M. A. (2014). Spatial risk model and mitigation implications for wolf–human conflict in a highly modified agroecosystem in western Iran. *Biological Conservation*, 177, 156-164.
- Beheshtian-Ardakani, A., Fathian, M., y Gholamian, M. (2018). A novel model for product bundling and direct marketing in e-commerce based on market segmentation. *Decision Science Letters*, 7(1), 39-54.
- Bellamy, A. S., & Loris, A. (2017). Addressing the Knowledge Gaps in Agroecology and Identifying Guiding Principles for Transforming Conventional Agri-Food Systems. *Sustainability*, 9(3), 330.
- Ben, H. Y., Brisebarre, A. M. & Guinand, S. (2016). The cultural heritage of pastoralism-local knowledge, state identity and the global perspective: the example of local breeds in Morocco. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 357.
- Benavides, H. & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Colombia: IDEAM–METEO/008-2007.
- Benetti, M. (2016). *Diseño de una propuesta de política de Servicios Ecosistémicos para*

- Brasil: Estudio de caso en la comunidad de Foz do Canumá, en la cuenca hidrográfica del Río Amazonas*. Móstoles, Madrid: Universidad Rey Juan Carlos, Departamento de Tecnología Química y Ambiental.
- Benitez, I. y Diez, J. L. (2005). *Técnicas de Agrupamiento para el Análisis de datos Cuantitativos y Cualitativos*. España: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, 1-53.
- Benito, T., & Cecilia, H. (2016). Estimación De Kc Y Necesidades Hídricas De Melocotonero (Spring Snow) Bajo Riego Por Goteo Mediante Técnicas De Teledetección Y Covarianza De Torbellino. Colección : *Cuadernos Científicos para el Regadío*, 1–16.
- Benjamín–Ordóñez, J. A., y O. Maserá. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosque* 7(1):3–12.
- Berdegúe, J. y Escobar, G. (1990). *Metodología para la tipificación de sistemas de finca*. Santiago de Chile RIMISP. Pag. 13-43.
- Bertalanffy, L. V., y Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de los sistemas; fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (No. 04; Q295, B4.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Betancur, D. (2010). *Modelo basado en agentes para las etapas de recopilación e integración de datos en el proceso de KDD*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2034/1/10366054583.2010.pdf>.
- Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., & Grace, D. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 137, 119-129.
- Bhote, K. R. (1994). Dr. W. Edwards Deming-a prophet with belated honor in his own country. *National Productivity Review*, 13(2), 153-160.
- Black, S. A., y Copsey, J. A. (2014). Does Deming's "System of Profound Knowledge" Apply to Leaders of Biodiversity Conservation?. *Open Journal of Leadership*, 2014.
- Blad, B.L. & Rosenberg, N.J., 1974. Lysimetric calibration of the Bowen-ratio energy balance method for evapotranspiration estimation in the Central Great plains. *J. App. Meteorol.* 13(2).
- Blanco, J. A. (2013). *Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales*. Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra. doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms>.
- Blanco, J., Álvarez, A., & Morgan, H. O. (2011). Contribución de la ganadería a las

- emisiones de gases de efecto invernadero. *Ciencia y tecnología ganadera*, 5(1).
- Boisvenue, C., & Running, S.W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity: evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12, 1-21.
- Bolaños, O. (1999). *Caracterización y tipificación de organizaciones de productores y productoras*. Unidad de planificación estratégica. Ministerio de agricultura y ganadería. Costa Rica: XI Congreso Nacional Agronómico / I Congreso Nacional de Extensión.
- Bonaudo, T., Bendahan, A. B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., & Tichit, M. (2014). Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43-51.
- Bond, B.J. & Franklin, J. F. (2002). Aging in Pacific Northwest forests: a selection of recent research. *Tree Physiology*, 22, 73–76.
- Bonin, T.A., Newman, J.F., Klein, P.M., Chilson, P.B., & Wharton, S. (2016). Improvement of vertical velocity statistics measured by a Doppler lidar through comparison with Sonic anemometer observations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 5833(1)-5852.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Hebel, C. V., Schmidt, M., Baatz, R., Firbank, L., & Herbst, M. (2015). Spatio-temporal drivers of soil and ecosystem carbon fluxes at field scale in an upland grassland in Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 84-93.
- Borja R., Alados R. (2008). Grupo de física de la atmósfera Dpto. de física aplicada Universidad de Granada Procesamiento y QC/QA de datos micrometeorológicos
- Boval, M., y Dixon, R. M. (2012). The importance of grasslands for animal production and other functions: A review on management and methodological progress in the tropics. *Animal*, 6(05), 748-762.
- Broughton, W. D. (1999). Edwards Deming's profound knowledge and Individual Psychology. *Individual Psychology*, 55(4), 449.
- Bravo-Medina, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M. E., Torres-Navarrete, B., Navarrete-Alvarado, H., Durazno-Alvarado, G., y Changoluisa-Vargas, D. (2017). *Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana*. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000100003&lng=es&tlng=es.
- Brunett, L. (2004). *Contribución a la Evaluación de la Sustentabilidad; Estudio de caso dos Agroecosistemas Campesinos de Maíz y Leche del Valle de Toluca*. México: Tesis

- doctoral para obtener el grado en ciencias veterinarias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia División de Estudios de Posgrado e Investigación.
- Buang, N., Liu, N., Caelli, T., Lesslie, R. & Hill, M.J. (2006). Discover knowledge from distribution maps using bayesian networks. *Proceedings of the Fifth Australasian Data Mining Conference (AusDM2006)*, pp. 69–74.
- Buckler, B. (1998). Practical steps towards a learning organisation: applying academic knowledge to improvement and innovation in business processes. *The Learning Organization*, 5(1), 15-23.
- Buij, R., Melman, T. C., Loonen, M. J., & Fox, A. D. (2017). Balancing ecosystem function, services and disservices resulting from expanding goose populations. *Ambio*, 46(S2), 301-318.
- Buitrago, S. & Chitiva, D. (2017). *La gastronomía sostenible como factor de mejoramiento de la cadena de suministro del sector gastronómico en Bogotá-Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad externado de Colombia. Facultad de finanzas, gobierno y relaciones internacionales; Centro de estudios de posgrado, Maestría en responsabilidad social y sostenibilidad.
- Burba, G. (2013). *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural, and Regulatory Applications: A field book on measuring ecosystem gas exchange and areal emission rates*. Nebraska, Estados Unidos: LI-COR Biosciences.
- Burba, G. & Anderson, D., (2010). *A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements. Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications*. Version 1.0.1 LI-COR. Lincoln, Nebraska 68504 USA: Biosciences.
- Burba, G. G., Mcdermitt, D. K., Grelle, A., Anderson, D. J., & Xu, L. (2008). Addressing the influence of instrument surface heat exchange on the measurements of CO₂ flux from open-path gas analyzers. *Global Change Biology*, 14(8), 1854-1876.
- Burba, G., Schmidt, A., Scott, R. L., Nakai, T., Kathilankal, J., Fratini, G., & Velgersdyk, M. (2011). Calculating CO₂ and H₂O Eddy Covariance fluxes from an enclosed gas analyzer using an instantaneous mixing ratio. *Global Change Biology*, 18(1), 385-399.
- Burns, S.P., Metzger, S., Blanken, P.D., Burba, G., Swiatek, E., Li, J. ... Taylor, J. (2014). A comparison of infrared gas analyzers above a subalpine forest in complex terrain. *17th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. doi: 10.13140/2.1.2656.5445.
- Bustillo-García, L., y Dickdan, Z. B. (2016). Sustentabilidad y desarrollo rural de los

- agroecosistemas bufalinos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 21(73).
- Butt, B. (2016). Ecology, mobility and labour: dynamic pastoral herd management in an uncertain world. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 461.
- Byrne, K. A., Kiely, G., & Leahy, P. (2007). Carbon sequestration determined using farm scale carbon balance and eddy covariance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 357–364. doi:10.1016/j.agee.2006.11.015.
- Bytheway, W. (2012). *Creatividad e innovacion. Tecnica de analisis de fusiones sistemicas (TAFS)*. Bogotá, Colombia: Editorial Panamericana. Bogota. Pp. 15, 18, 31, 33, 34, 35, 42, 43, 44, 48, 64, 75, 81, 271 - 275.
- Caballero, D., Antequera, T., Caro, A., Duran, M. L., & Perez-Palacios, T. (2016). Data Mining on MRI-Computational Texture Features to Predict Sensory Characteristics in Ham. *Food Bioprocess Technol.* doi 10.1007/s11947-015-1662-1.
- Caballero, D., Caro, A., Rodríguez, P. G., Durán, M. L., Avila, M. M., Palacios, R., ..., Pérez-Palacios, T. (2016). Modeling salt diffusion in Iberian ham by applying MRI and data mining. *Journal of Food Engineering*, 189, 115-122. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.06.003.
- Caballero, P., Pulido, M. T., Herrera, G., y Barriozabal, C. (2016). Conservación basada en comunidad: importancia y perspectivas para Latinoamérica. *Estudios Sociales*, Julio-Diciembre, 335-352.
- Cabell, J. y Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1).
- Cabral, O. M. R., Gash, J. H. C., Rocha, H. R., Marsden, C., Ligo, M. A. V., Freitas, H. C., Tatsch, J. D., y Gomes, E. (2011). Fluxes of CO₂ above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 49–59
- Cabrera, D., García, A., Acero, R., Castaldo, A., Perea, J., y Martos, J. (2004). *Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos*. España: Universidad de Córdoba Documentos e trabajo producción animal y gestión. DT, 1.
- Cáceres, D., Silvetti, F., y Soto, G. (1997). La adopción tecnológica en sistemas agropecuarios de pequeños productores. *Agro sur*, 25(2), 123-135.
- Cadavid, G. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso siderúrgico*. Tesis de maestría. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- Calabrese, A., y Scoglio, F (2012). Reframing the past: A new approach in service quality assessment. *Total Quality Management y Business Excellence*, 23(11-12), 1329-1343.

- Camargo, H. y Silva, M. (2013). Dos caminos en la búsqueda de patrones por medio de Minería de Datos: SEMMA y CRISP. *Rev. Tecnol. Journal of Technology* (9)1, 11-18.
- Campbell (2015). *Dataloggers and Data Acquisition Systems - Also known as data loggers, data reco CAMPBELL, G.S. y NORMAN J.M. 1998. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer Science+Business Media New York. Página web <http://gaia.agraria.unitus.it/database/eddyprocrders>, or RTUs (n.d.)*. Retrieved July 01, 2017, from: <https://www.campbellsci.com/dataloggers>.
- Campbell, G. S. & Norman J.M. (1998). *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer Science+Business Media New York. Recuperado de <http://gaia.agraria.unitus.it/database/eddyproc>.
- Campbell, B. W., & Ortíz, S. L. (2011). *Integrating agriculture, conservation and ecotourism: Examples from the field*. Dordrecht: Springer.
- Campbell, S., S. Mooney, J.P. Hewlett, D.J. Menkhaus, G.F. Vance.(2004). Can ranchers slow climate change? *Rangelands*. 26(4):16-22.
- Cammalleri, C., Rallo, G., Agnese, C., Ciralo, G., Minacapilli, M. & Provenzano, G. (2013). Combined use of eddy covariance and sap flow tcniques for partition of ET fluxes and wáter stress assessment in an irrigates olive orchard. *Agricultural Water Management*, 120(1), 89-97.
- Capriles, M. (1998). *Avances en la metodología: perfiles productivos y funcionalidad tecnológica en sistemas de producción de leche y carne con vacunos en Venezuela*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Sistema de Producción con Rumiantes en los Trópicos Maracay (mimeo), 7 pp.
- Cardinale, B. J., Ives, A. R., & Inchausti, P. (2004). Effects of species diversity on the primary productivity of ecosystems: Extending our spatial and temporal scales of inference. *Oikos*, 104(3), 437-450.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1).
- Caro, D., Davis, S. J., Bastianoni, S., & Caldeira, K. (2017). Greenhouse Gas Emissions Due to Meat Production in the Last Fifty Years. *In Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability* (pp. 27-37). Springer International Publishing.
- Carrara, A., Janssens, I. A., Yuste, J. C. y Ceulemans, R. 2004. Seasonal changes in

- photosynthesis, respiration and NEE of a mixed temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 15-31.
- Carulla, C. S. (2003). *Arquitectura y medio ambiente* (Vol. 7). Architectonics Mind, Land & Society. España: Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica.
- Carvalho, C. R. R., y Campos, F. R. (2009). Análise dos aspectos econômicos e ambientais da cadeia agroindustrial do tomate no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, 29(1), 163-178.
- Castillo, R. M. (2011). Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes*, 3(5).
- Castiñeira, C., Blasi, A. M., Bonomo, M., Politis, G. G., & Apolinaire, E. (2014). *Modificación antrópica del paisaje durante el holoceno tardío: las construcciones monticulares en el delta superior del río Paraná*. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222014000100004&lng=es&tlng=es.
- Catley, A., Lind, J., y Scoones, I (2016). The futures of pastoralism in the Horn of Africa: pathways of growth and change. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 389-403.
- Catorci, A., S. Cesaretti, R. Gatti (2013). Effect of long-term abandonment and spring grazing on floristic and functional composition of dry grasslands in a Central Apennine farmland. *Pol. J. Ecol.*, 61, 505–518.
- Cazorla, A., F. J. Olmo y L. Alados-Arboledas (2008). Using a Sky Imager for aerosol characterization. *Atmospheric Environment* 42(11): 2739-2745.
- CCAD-PNUD/GEF (2002). *Guía metodológica de valoración de bienes, servicios e impactos ambientales. Proyecto para la consolidación del corredor biológico mesoamericano. Serie Técnica 04*. Managua, Nicaragua: Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Impresión Comercial La Prensa.
- Cduepp, P. H., Leclerc, M. Y., Macpherson, J. I., & Desjardins, R. L. (1990). Footprint prediction of scalar fluxes from analytical solutions of the diffusion equation. *Coundary-Layer Meteorology*, 50(355-373).
- Cedillo, J. G. G. (2015). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. *Espacio y Desarrollo*, (18), 6-27.
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y*

- recursos agropecuarios*, 2(4), 23-39.
- Chapin III, F. S., Woodwell, G. M., Randerson, J. T., Rastetter, E. B., Lovett, G. M., Baldocchi, D. D., ... Schulze, E.-D. (2006). Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems*, 9, 1041–1050. doi: 10.1007/s10021-005-0105-7.
- Chapin III, F. S., McFarland, J., McGuire, & A. D., Euskirchen, E. S., Ruess, R. W. & Kielland, K. (2009). The Changing Global Carbon Cycle: Linking Plant-Soil Carbon Dynamics to Global Consequences. *Journal of Ecology*, 97(5), 840-850. doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01529.x.
- Charles, R. Jolliet, O., & Gaillard, G. (1998). *Taking into account quality in the definition of functional unit and influence on the environmental optimisation of fertiliser level*. In: Ceuterick D (ed) International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-industry and Forestry, Proceedings, 3–4 December 1998. VITO, Brussels, pp 11–16
- Charles, V., & Kumar, M. (2014). *Business Performance Measurement and Management*. Newcastle, England: Cambridge Scholars Publishing.
- Chargoy, C. I. (2004). *Manejo de la sucesión ecológica como herramienta de diversificación agrícola y conservación de las selvas*. En: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Editores: Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia.
- Chávez, R. X., Lombeida, E. D., Pazmiño, A. M., & Vasconez, F. (2015). *Innovation in the agricultural sector: Experiences in Latin America*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202015000300016>.
- Checkland, P. (2000). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. México: Limusa.
- Chen, B., Ge, Q., Fu, D., Liu, G., Yu, G., Sun, X., & Wang, H. (2009). Upscaling of gross ecosystem production to the landscape scale using multi-temporal Landsat images, Eddy Covariance measurements and a *Footprint* model. *Biogeosciences Discussions*, 6(6), 11317.
- Chen, Y., Mu, S., Sun, Z., Gang, C., Li, J., Padarian, J., Groisman, P., Chen, J., & Siwei, L. (2016). Grassland Carbon Sequestration Ability in China: A New Perspective from Terrestrial Aridity Zones. *Rangeland Ecology & Management*, 69, 84-94.
- Cherubini, F., & Strømman, A. H. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 102(2), 437-451.
- Chiarini, A. (2011). Japanese total Quality Control, TQM, Deming's system of profound

- knowledge, BPR, lean and Six Sigma: comparison and discussion. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 332-355.
- CIPAV y TNC. (2009). *Evaluación Ambiental: Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*, Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching.
- Civeira, G. (2016). Potential changes in net primary productivity and carbon input of periurban agroecosystems treated with biosolids in Buenos Aires, Argentina. *Pedosphere*, 26(1), 98-107.
- Christen, A., Coops, N.C., Crawford, B.R., Kellett, R., Liss, K.N., Olchovski, I., ... Voogt, J.A. (2011). Validation of modeled carbon-dioxide emissions from an urban neighborhood with direct eddy-covariance measurements. *Atmospheric Environment*, 45, 6057-6069. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.07.040.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J. R., y Ni, J. (2001). Measuring net primary production in forest: concepts and field measurements. *Ecological Applications*, 11(2): 356–370.
- Cochran, F. V., Brunzell, N. A., y Suyker, A. E. (2016). A thermodynamic approach for assessing agroecosystem sustainability. *Ecological Indicators*, 67, 204-214.
- Collado-Ruiz, D. & Ostad-Ahmad-Ghorabi, H. (2010). Comparing LCA results out of competing products: developing reference ranges from a product family approach. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 355-364.
- Collalti, A.; Marconi, S.; Ibrom, A., Trotta, C.; Anav, A.; D'andrea, E., ... Santini, M.(2016). Validation of 3D-CMCC Forest Ecosystem Model (v.5.1) against eddy covariance data for 10 European forest sites. *Geoscientific Model Development*, 9(2), 479-504. doi: 10.5194/gmd-9-479-2016.
- Collatz, G. J., Ball, J. T., Grivet, C., y Berry, J. A. (1991). Regulation of stomatal conductance and transpiration: a physiological model of canopy processes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 54: 107–136.
- Comberti, C., Thornton, T., Wyllie de Echeverria, V. & Patterson, T. (2015). Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems. *Global Environmental Change*, 34, 247-262.
- Connan, O., Maro, D., Hébert, D., Solier, L., Laguionie, P., & St-Amant, N. (2015). In situ measurements of tritium evapotranspiration (3 H-ET) flux over grass and soil using the gradient and Eddy Covariance experimental methods and the FAO-56 model. *Journal of environmental radioactivity*, 148, 1-9.
- Conan, O., Maro, D., Hébert, D., Solier, L., Caldeira Ideas, P., Laguionie, P. & St-Amant,

- N. (2015). In situ measurements of tritium evapotranspiration (3H-et) flux over grass and soil using the gradient and eddy covariance experimental methods and the FAO-56 model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 148(1), 1-9.
- Contini, D., Donato, A., Elefante, C., & Grasso, F. M. (2012). Analysis of particles and carbon dioxide concentrations and fluxes in an urban area: Correlation with traffic rate and local micrometeorology. *Atmospheric Environment*, 46, 25-35. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.10.039.
- Cook, B. D., Davis, K. J., Wang, W., Desai, A. R., Berger, B. W., Teclaw, R. M., Martin, J. F., Bolstad, P. V., Bakwin, P. S., Yi, C. y W., H. 2004. Carbon exchange and venting anomalies in an upland deciduous forest in northern Wisconsin, USA,. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 271-295.
- Cook, P. G., Hatton, T. J., Pidsley, D., Herczega, A. L., Helda, A., O'Grady, A. y D., E. 1998. Water balance of a tropical woodland ecosystem, Northern Australia: a combination of micro-meteorological, soil physical and groundwater chemical approaches. *Journal of Hydrology*, 210: 161-177.
- Córdoba, M. y Larreamendy-joerns, J. (2007). *Variación en estilos de experimentación y conocimiento específico*. *Acta Colombiana de Psicología*, 10(1), 25-34. Recuperado en 27 de abril de 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-91552007000100004&lng=es&tlng=es.
- Corral, J. N. (2013). *Diversidad funcional y redes tróficas de anfibios que habitan bosques y sistemas productivos en el eje cafetero colombiano* (Tesis de pregrado). Bogotá, Colombia: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana.
- Correa, E., Hernández, V., y Moreno, Y. (2015). *Diseño de un sistema de gestión de calidad aplicado en un modelo para la selección de proveedores desde el marco estratégico y administrativo de la gerencia*. Bogotá, Colombia: Universidad Sergio Arboleda.
- Cortiñas Paredes, F. J. (2016). *Desarrollo de ganadería ecológica e inclusión social*. España: Universidade de Santiago de Compostela. Facultade de Veterinaria. Departamento de Patoloxía Animal. Grupo de Investigación COPAR.
- Cosme, R. (2017). *Reducing Food-Related Greenhouse Gas Emissions Through Modification of Human Diet*. The Climate Institute.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., & Raskin, R. G. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*,

- 387(6630), 253-260.
- Crawford, R. (2011). Life cycle assessment in the built environment. *Taylor & Francis*. Pp. 44.
- Cruz-García, G. S., Sachet, E., Vanegas, M., & Piispanen, K. (2016). Are the major imperatives of food security missing in ecosystem services research? *Ecosystem Services*, 19, 19-31.
- Cruz, G., Rosete, A., Turtós, L., Zerquera, R., y Morales, A. (2009). *Estimación de parámetros meteorológicos secundarios aplicando minería de datos*. Ciudad de La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".
- Culf, A. D., Fisch, G., & Hodnett, M. G. (1995). The albedo of Amazonian forest and ranch land. *Journal of Climate*, 8(6), 1544-1554.
- Cumming, G., Olsson, P., Chapin, F., & Holling, C. (2012). Resilience, experimentation, and scale mismatches in social-ecological landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 1139-1150. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-012-9725-4>.
- Cunningham, A. I., del Campestre, C. N., y Saltillo, C. (2000). *Las opiniones expresadas no son necesariamente opiniones de la OEA, de sus órganos o de sus funcionarios*.
- Curtis, P. S., Hanson, P. J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph, J.C., Schmid, H.P., & Wilson, K. B. (2002). Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113, 3-19.
- Cutler, D., Edwards Jr., Beard, T., Cutler, H., Hess, A., Gibson, K. & Lawler, J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88, 2783- 2792.
- Cuxart, J., Tatrai, D., Weidinger, T., Kircsi, A., Józsa, J., & Kiss, M. (2015). Infrasound as a Detector of Local and Remote Turbulence. *Boundary-Layer Meteorology*, 159(2), 185-192.
- Daelemans, W., Goethals, B., & Morik, K. (2008). *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. European Conference, ECML PKDD 2008. Antwerp, Belgium, LNAI 5211, p. 1, 2008.
- Da Silveira Pontes, L., Maire, V., Schellberg, J. & Louault, F. (2015). Grass strategies and grassland community responses to environmental drivers: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1297-1318.
- Davinic, M., Moore-Kucera, J., Acosta-Martínez, V., Zak, J., & Allen, V. (2013). Soil fungal distribution and functionality as affected by grazing and vegetation components of integrated crop–livestock agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 66, 61-70.

- Daza, S. y Figueroa Casas, A. (2015). *Factores que determinan la resiliencia socio-ecológica para la alta montaña andina*. Recuperado de <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/995>.
- De Blas, C., García-Rebollar, P., Cambra-López, M., & Torres, A. G. (2008). *Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero*. XXIV Curso de especialización FEDNA. Madrid, España: Editorial FEDNA. 121-150.
- Debeljak, M., Poljanec, A., & Ženko, B. (2014). Modelling forest growing stock from inventory data: A data mining approach. *Ecological Indicators*, 41, 30–39.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- De los Ríos Cardona, J. C., Gallego Zapata, A. F., Vargas, V., Darío, L., Agudelo Otalvaro, J. I., Toro Restrepo, L. J., & Acevedo Arango, L. I. (2004). Characterization and evaluation of agroecosystems on a farm scale. A case study: cotove farming center. (Santa Fe de Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 57(1), 2287-2319.
- Derner, J.D., G.E. Schuman, M. Jawson, S. Schafer, J. Morgan, W. Polley, B. Runion, S. Prior, A. Tolbert, H. Rogers, J. Bunce, L. Ziska, J. White, A. Franzluebbbers, J. Reeder, R. Venterea, L. Harper. (2005). USDA-ARS global change research on rangelands and pasturelands. *Rangelands*. 27(5): 36-42.
- Desai, A.R., A.D. Richardson, A.M. Moffat, J. Kattge, D.Y. Hollinger, A. Barr, E. Falge, A. Noormets, D. Papale, M. Reichstein, V.J. Stauch. (2008). Cross-site evaluation of eddy covariance GPP and RE decomposition techniques. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 821–838.
- Desai, A.R., P.V. Bolstad, B.D. Cook, K.J. Davis, E.V. Carey. 2005. Comparing net ecosystem exchange of carbon dioxide between an old-growth and mature forest in the upper Midwest, USA. *Agricultural and Forest Meteorology* 128 (1-2): 33-55.
- Divinsky, I., Becker, N., & Bar (Kutiel), P. (2017). Ecosystem service tradeoff between grazing intensity and other services - A case study in Karei-Deshe experimental cattle range in northern Israel. *Ecosystem Services*, 24, 16-27 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.01.002>.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements*, *Estudio de Riego y Drenaje No. 24*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 179 p.

- Delgado Mahecha, O., Moncayo, É., Jiménez Reyes, L. C., Carrizosa Umaña, J., Osorio, L. C., Escobar, R. y Mesa Sánchez, N. E. (2001). *Espacio y territorios: razón, pasión e imaginarios*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Vicerrectoría General.
- Delonge, M. & Basche, A (2017). Leveraging agroecology for solutions in food, energy, and water. *Elem Sci Anth*, 5.
- Delonge, M. S., Miles, A., & Carlisle, L. (2016). Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science & Policy*, 55, 266-273.
- Dolman, A.J., T.C. Maximov, E.J. Moors, A.P. Maximov, J.A. Elbers, A.V. Kononov, M.J. Waterloo, M.K. van der Molen. (2004). Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences* 1: 133–146.
- Dehning, P., Lubinetzki, K., Thiede, S., & Herrmann, C. (2016). Achieving Environmental Performance Goals - Evaluation of Impact Factors using a Knowledge Discovery in Databases Approach. *Procedia CIRP*, 48, 230 – 235. doi: 10.1016/j.procir.2016.03.108.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. U.S.A.: MIT Press.
- Deming, W. E. (1998). *Nueva Economía*. España: Díaz de Santos.
- Deming, W. E. (2000). *The New Economics for Industry, Government, and Education*. Boston: MIT Pres. Boston, U.S.A.: MIT Press.
- Detto, M., Verfaillie, J., Anderson, F., Xu, L., & Baldocchi, D. (2011). Comparing laser-based open- and closed-path gas analyzers to measure methane fluxes using the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 1312–1324. doi:10.1016/j.agrformet.2011.05.014.
- Díaz, J. (2010). *Los 14 puntos de Edwards Deming sobre la calidad*. Recuperado en junio 14, 2017, de <https://www.emprendices.co/los-14-puntos-de-edwards-deming-sobre-la-calidad/>.
- Díaz, Y. (2015). *Análisis estructural prospectivo de factores de riesgos ambientales que afectan la salud pública de los barranquilleros como estrategias para el diseño del futuro* (Bachelor's thesis). Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Díaz-Delgado, R.; Carro, F.; Quirós, F.; Osuna, A.; y Baena, M. (2016). Contribución del seguimiento ecológico a largo plazo a la investigación y la gestión en la plataforma LTSER-Doñana. *Ecosistemas*, 25(1), 9-18.
- Dipnall, J. F., Pasco, J. A., Berk, M., Williams, L.J., Dodd, S., Jacka, F.N, ... Meyer, D. (2016) Fusing Data Mining, Machine Learning and Traditional Statistics to Detect Biomarkers Associated with Depression. *PLoS ONE* 11(2).

- doi:10.1371/journal.pone.0148195.
- Dlamini, W. M. (2011). A data mining approach to predictive vegetation mapping using probabilistic graphical models. *Ecological Informatics*, 6(2), 111–124. doi:10.1016/j.ecoinf.2010.12.005.
- Dlamini, P., Chivenge, P., & Chaplot, V. (2016). Overgrazing decreases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 258-269.
- Dogliotti, S. (2007). *Introducción al enfoque de sistemas en agricultura y su aplicación para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles*. Charla compartida en la Dirección General de la Granja – MGAP, Colombia.
- Dolman, A. J., Freibauer, A., & Valentini, R. (2008). *The continental-scale greenhouse gas balance of Europe*. New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-0-387-76570-9.
- Domínguez, N., Orsini, G., y Beltrán, A. (2009). *La influencia del cambio tecnológico en el desarrollo agropecuario de la región central argentina*. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Entre Ríos. Recuperado de <http://fceco.uner.edu.ar/archivos/M3-10-20Dominguez%20y%20otros.pdf>.
- Domínguez–Vegas, C., Gonzáles-Paredes, A., Cañizales-Paredes, N., Rojas-Milano, C., Domínguez–Vegas, J., y Márquez, A. (2009). *Bases para el desarrollo de un sistema de indicadores de sostenibilidad agroambiental aplicado a sistemas mixtos cultivos-ganadería en el eje norte-llanero de estado Guárico, Venezuela*. Almería, España: III Seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos, sostenibilidad e indicadores. Almería.
- Doorn, N. (2015). Resilience indicators: Opportunities for including distributive justice concerns in disaster management. *Journal of Risk Research*, 20(6), 711-731.
- Doré, T., Makowski, D., Melézieux, E., Jolain, N., Tchamitchian, M y Tottonell, P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *Europ. J. Agronomy*, 34, 197–210.
- Doughty, C. E., Goulden, M. L., Miller, S. D., y da Rocha, H. R. (2006). Circadian rhythms constrain leaf and canopy gas exchange in an Amazonian forest. *Geophysical Research Letters*, 33: L15 404 doi:10.1029/2006GL026 750.
- Dragomir, C. M., Klaassen, W., Voiculescu, M., Georgescu, L. P., & van der Laan, S. (2012). Estimating annual CO₂ flux for Lutjewad Station using three different gap-filling techniques. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Dueñas-Reyes, M. X. (2009). Minería de datos espaciales en búsqueda de la verdadera

- información. *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, 13(1), 137-156.
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., & Tichit, M. (2012). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7(06), 1028-1043.
- Dumortier, P., Aubinet, M., Beckers, Y., Chopin, H., Debacq, A., Motte, L. G., Heinesch, B. (2017). Methane balance of an intensively grazed pasture and estimation of the enteric methane emissions from cattle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 527-535.
- Duque, N. D., Hernández, E. J., Pérez, A. M., Arroyave, A. F., & Espinosa, D. A. (2016). Modelo para el proceso de extracción, transformación y carga en bodegas de datos. Una aplicación con datos ambientales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 95-109. doi: 10.18359/rcin.1799.
- Duque, N. D., Orozco, M., y Hincapié, L. (2010). Minería de Datos para el Análisis de Datos Meteorológicos. *Tendencias en Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial*, 3.
- Duru, M., Moraine M., & Therond O. (2015). An analytical framework for structuring analysis and design of sustainable ruminant livestock systems. *Animal Frontiers*, 5, 6-13. doi:10.2527/af.2015-0041.
- Duvernoy, I. (2000). Use of a land cover model to identify farm types in the Misiones agrarian frontier (Argentina). *Agricultural Systems*, 64(3), 137-149.
- Edwards, C. A. (1993). *The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability*. Amsterdam: Elsevier.
- Efron, B. and Tibshirani, R. J.: An Introduction to the Bootstrap, Chapman & Hall, New York, 1993.
- Falge, E., Baldocchi, D., Olson, R., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, H., Granier, A., Gross, P., Grunwald, T., Hollinger, D., Jensen, N.-O., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A., Lai, C. T., Law, B. E., Meyers, T., Moncrieff, J., Moors, E., Munger, J. W., Pilegaard, K., Rannik, U., Rebmann, C., Suyker, A., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., and Wofsy, S.(2001). Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange, *Agric. Forest Meteorol.*, 107, 43–69
- Field, C. B., Berry, J. A., y Mooney, H. A. (1982). A portable system for measuring carbon dioxide and water vapor exchanges of leaves. *Plant, Cell and Environment*, 5: 179–186.
- Elbersen, B.; Beaufoy, G., Jones, G., Noij, G-J., Doorn, A., Breman, B. & Hazeu, G. (2014). *Aspects of data on diverse relationships between agriculture and the environment*. Report for DG-Environment. Alterra. Wageningen, April 2014.

- Elden, S. (2010). Land, terrain, territory. Progress. *The Sage Handbook of Human Geography*. 34(6), 799-817.
- Eloit, M. (2016). Preface-The future of pastoralism. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 329.
- Elzen, B., Augustyn, A. M., Barbier, M., & van Mierlo, B. (Eds.). (2017). *AgroEcological Transitions: Changes and Breakthroughs in the Making*. Wageningen University y Research. doi: <http://dx.doi.org/10.18174/407609>.
- Emmerton, C.A., St Louis, V.L., Humphreys, E.R., Gamon, J.A., Barker, J.D. & Pastorello, G.Z. (2016). Net ecosystem Exchange of CO₂ with rapidly changing high Arctic landscapes. *Global Change Biology*, 2, 1185-1200. doi: 10.1111/gcb.13064.
- Escobar, V. H. (2007). *Minería Web de Uso y Perfiles de Usuario: Aplicaciones con Lógica Difusa*. Granada, España: Editor de la Universidad de Granada.
- Escobar, Q., José, B., & Franco, F. H. L. (1999). *Revisión a la metodología del análisis estructural*. Cali: Colombia: ESUMER: Especialización en Prospectiva Organizacional.
- Espinosa, M., Farías, N., y Verduzco, J. A. (2016). Análisis de los Datos Históricos de la Programación de Cursos en los CECATI del Estado de Colima. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 6(12).
- Estrada-Carmona, N., Hart, A. K., Declerck, F. A., Harvey, C. A., & Milder, J. C. (2014). Integrated landscape management for agriculture, rural livelihoods, and ecosystem conservation: An assessment of experience from Latin America and the Caribbean. *Landscape and Urban Planning*. 129, 1-11.
- Eugster, W. & Senn, W. (1995). Cospectral Correction Model for Measurement of Turbulent NO₂ Flux. *Boundary-Layer Meteorology*, 74, 321 – 340.
- Euroflux. (2016). Retrieved January 06, 2017, from <http://www.europe-fluxdata.eu/home/sites-list>.
- Evans, T. J. (1996). *Deming's System of Profound Knowledge: An Overview for International Educators*. San Pedro Sula, Honduras: The Escuela Internacional Sampedrana.
- Evans C.D., Bonn A., Holden J., Reed M.S., Evans M.G., Worrall F., ... & Parnell M. (2014). Relationships between anthropogenic pressures and ecosystem functions in UK blanket bogs: Linking process understanding to ecosystem service valuation. *Ecoser*. 9, 5-19.
- Evrendilek, F. (2012). Assessing neural networks with wavelet denoising and regression models in predicting diel dynamics of eddy covariance-measured latent and sensible heat fluxes, and evapotranspiration. *Neural Computing & Applications*, 24(2), 327–337.

doi: 10.1007/s00521-012-1240-7.

- Facchi, A., Gharsallah, O., Corbari, C., Masseroni, D., Mancini, M. & Gandolfi, C. (2013) Determination of maize crop coefficients in humid climate regime using the eddy covariance technique. *Agricultural Water Management*, 130(1), 131-141.
- Falge, E., Baldocchi, D. D., Olson, R., Anthoni, P. M., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, A. J., Granier, A., Gross, P., Grünwald, T., Hollinger, D., Jensen, N. O., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A. S., Lai, C. T., Law, B. E., Meyers, T., Moncrieff, J. B., Moors, E. J., Munger, J. W., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A. E., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S. y Vesala, T. 2001a. Gap filling strategies for long term energy flux data sets. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 71-77.
- Falge, E., Baldocchi, D. D., Olson, R., Anthoni, P. M., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, A. J., Granier, A., Gross, P., Grünwald, T., Hollinger, D., Jensen, N. O., Katul, G. G., Keronen, P., Kowalski, A. S., Lai, C. T., Law, B. E., Meyers, T. P., Moncrieff, J. B., Moors, E. J., Munger, J. W., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A. E., Tenhunen, J. D., Tu, K., Verma, S. B., Vesala, T., Wilson, K. B. y Wofsy, S. C. 2001b. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 43 - 69.
- Falge, E., Baldocchi, D. D., Tenhunen, J., Aubinet, M., Bakwin, P., Berbigier, P., Bernhofer, C., Burba, G., Clement, R., Kenneth, J. D., Elbers, J., Goldstein, A., Grelle, A., Granier, A., GuðMundsson, J., Hollinger, D., Kowalski, A. S., Katul, G., Law, B. E., Malhi, Y., Meyers, T., Monsons, R. K., Mungert, J. W., Oechel, W., Paw U, K. T., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A. E., Valentini, R., Wilson, A. y Wofsy, S. C. 2002a. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 53-74.
- Falge, E., Tenhunen, J. D., Baldocchi, D. D., Aubinet, M., Bakwin, P., Berbigier, P., Bernhofer, C., Bonnefond, J.-M., Burba, G., Clement, R., Davis, K. J., Elbers, J., Falk, M., Goldstein, A., Grelle, A., Granier, A., Grünwald, T., GuðMundsson, J., Hollinger, D., Janssens, I. A., Keronen, P., Kowalski, A. S., Katul, G., Law, B. E., Malhi, Y., Meyers, T., Monson, R. K., Moors, E. J., Mungert, J. W., Oechel, W., Paw U, K. T., Pilegaard, K., Rannik, Ü., Rebmann, C., Suyker, A. E., Thorgeirsson, H., Tirone, G., Turnipseed, A., Wilson, A. y Wofsy, S. C. 2002b. Phase and amplitude of ecosystem carbon release and uptake potentials as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 75-95.

- Feigenwinter, C., Bernhofer, C., and Vogt, R. (2004). The Influence of Advection on the Short Term CO₂ - Budget in and Above a Forest Canopy, *Boundary-Layer Meteorol.*, 113, 201–224
- Felber, R., Münger, A., Neftel, A., & Ammann, C. (2015). Eddy Covariance methane flux measurements over a grazed pasture: Effect of cows as moving point sources. *Biogeosciences*, 12(12), 3925-3940. doi:10.5194/bg-12-3925-2015.
- Ferraro, D. O. (2011). *Eficiencia energética y servicios ecosistémicos. Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires, Argentina: Ed. INTA, 221-235.
- Ferguson, R. S., & Lovell, S. T. (2013). Permaculture for agroecology: Design, movement, practice, and worldview. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 251-274.
- Fernández, A. (2017). Naturaleza humana y derecho: un modelo de discurso jurídico revisado. *Ludus Vitalis*, 14(25), 235-238.
- Figueroa, O. A. (2016). Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas producción de café en fincas-hogar del sector San José, Municipio de Linares-Nariño. *Tendencias*, 17(2), 111-125.
- Finnigan, J. J., Clement, R., Malhi, Y., Leuning, R., y Cleugh, H. A. (2003). A re-evaluation of long-term flux measurement techniques part I: averaging and coordinate rotation. *Boundary-Layer Meteorology*, 107(1), 1-48.
- Finnigan, J., Aubinet, M., Katul, G., Leuning, R., and Schimel, D.(2006) Report of a Specialist Workshop on “Flux Measurements in Difficult Conditions”, January 26-28, Boulder Colorado, Bull. Am. Meteorol. Soc.
- Fisher, M. J., I.M. Rao, C.E. Ayarza, C.E. Lascano, J.I. Sanz, R.J. Thomas y R.R. Vera. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 31: 236-238.
- Flanagan, L.B., Wever L. y Carlson P. (2002). Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland. *Global Change Biology* 8: 599-615.
- Flanagan, L.B., Orchard, T.E., Logie, G. S.J., Coburn, C.A., & Rood, S.B. (2017). Water use in a riparian cottonwood ecosystem: Eddy covariance measurements and scaling along a river corridor. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 332-348. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.08.024.
- Flores, C., & Sarandón, S. (2014). *Desarrollo y evolución de los ecosistemas*. En:

- Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editores: Sarandón, Santiago Javier y Flores, Claudia Cecilia.
- Fluxnet. (2015). Retrieved January 06, 2017, from <http://fluxnet.ornl.gov/maps-graphics>.
- Foken, T. & Wichura, B. (1996). Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1), 83-105. doi: 10.1016/0168-1923(95)02248-1.
- Foken, T., Göockede, M., Mauder, M., Mahrt, L., Amiro, B., & Munger, W. (2004). Post-Field Data Quality Control. *Handbook of Micrometeorology Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 29, 181-208.
- Foken, T. & Wichura, B. (2004). *Post-field Data Quality Control*. In: X. Lee, W.J. Massman and B. Law (Editors), *Handbook of Micrometeorology: A Guide for Surface Flux Measurement and Analysis*. Dordrecht: Kluwer, pp. 181-208.
- Foken, T. (2008). *Micrometeorology*. Berlin, Alemania: Springer.
- Fonseca-Carreño, J. A., Cleves-Leguízamo, J. A., & León-Sicard, T. (2016). Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos en la microcuenca del río Cormechoque (Boyacá). *Revista Ciencia y Agricultura (Rev Cien Agri)* 13(1). ISSN 0122-8420.
- Food and Agriculture Organization [FAO] (1991) *Guidelines: Land evaluation for extensive grazing*. (1991). Rome, Italia: FAO.
- Food and Agriculture Organization [FAO] (2009). *Low Greenhouse Gas Agriculture. Mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems*. Rome, Italia: FAO.
- Ford, H., Garbutt, A., Jones, D., & Jones, L. (2012). Impacts of grazing abandonment on ecosystem service provision: Coastal grassland as a model system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 162, 108-115. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.003>.
- Footy, G.M. (2003). Uncertainty, knowledge discovery and data mining in GIS. *Progress in Physical Geography*, 27(1), 113–121.
- Fort, H., Dieguez, F., Halty, V., & Lima, J. M. S. (2017). Two examples of application of ecological modeling to agricultural production: Extensive livestock farming and overyielding in grassland mixtures. *Ecological Modelling*, 357, 23-34.
- Fortuniak, K., Pawlak, W., Bednorz, L., Grygoruk, M., Siedlecki, M., & Zieliński, M. (2017). Methane and carbon dioxide fluxes of a temperate mire in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232(1), 306-318.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., W. Fahey, D., ... Whorf, T.

- (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *Climate Change 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Fox, C., Levitin, A., & Redman, T. (1994). The notion of data and its quality dimensions. *Information Processing & Management, 30*(1), 9-19.
- Frago, N., N. y Fuentes-González, R. (2007). Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos Utilizando Técnicas de Morfología Matemática Borrosa. *Información Tecnológica, 18*(6), 39-50.
- Franklin, J. F. y Swanson, M. E. (2010). Estudios ecológicos de largo plazo en bosques de Estados Unidos: Lecciones claves para su aplicación en Chile y otras regiones. *Revista Chilena de Historia Natural, 83*, 185-194.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., ... & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture, 22*(3), 99-118.
- Franses, P.H. & Van Dijk, D. (2000). *Non-linear time series models in empirical finance.* USA: Cambridge University Press.
- Freibauer, A. & Kaltschmitt, M. (2003). Controls and Models for Estimating Direct Nitrous Oxide Emissions from Temperate and SubBoreal Agricultural Mineral Soils in Europe. *Biogeochemistry, 63*(1), 93-115.
- Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). *The elements of statistical learning* (Vol. 1). Berlin, Germany: Springer series in statistics.
- Fu, D., Chen, B., Zhang, H., Wang, J., Black, T. A., Amiro, B. D., & Dunn, A. (2014). Estimating landscape net ecosystem exchange at high spatial-temporal resolution based on Landsat data, an improved upscaling model framework, and Eddy Covariance flux measurements. *Remote Sensing of Environment, 141*, 90-104.
- Fuentes, M. G. (2017). El enfoque de sistemas de innovación regionales: Una crítica a su aplicación en México. *Frontera Norte, 29*(57), 177-186.
- Galán, E., Padró, R., Marco, I., Tello, E., Cunfer, G., Guzmán, G., ... Moreno-Delgado, D. (2016). Widening the analysis of Energy Return on Investment (EROI) in agroecosystems: Socio-ecological transitions to industrialized farm systems (the Vallès County, Catalonia, c.1860 and 1999). *Ecological Modelling, 336*, 13-25.
- Gallardo, M. L. G., & Peniche, A. L. (2016). Perspectives and Reflections on Preventive Conservation: the Implementation of the Systems Approach. *Intervención (México DF),*

- 7(14), 5-15. Retrieved April 27, 2017, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2016000200005&lng=en&nylng=en.
- Gapp, R. (2002). The influence the system of profound knowledge has on the development of leadership and management within an organisation. *Managerial Auditing Journal*, 17(6), 338-342.
- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, G. Tempio. (2013). Tackling climate change through livestock-A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Garberi, J. (2016). *Agroecología: "No es una alternativa, es la única forma de producir"*. Retrieved July 04, 2017, from <http://mutualsentimiento.org.ar/blog/agroecologia-unica-forma-producir/>.
- Garnett, T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental science & policy*, 12(4), 491-503.
- Garnier, E., & Navas, M. (2011). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. *A review. Agronomy For Sustainable Development*, 32(2), 365-399.
- Gash, J.H.C. (1986). A note on estimating the effect of a limited fetch on micrometeorological evaporation measurements. *Boundary-Layer Meteorology*, 35, 409-413.
- Garcia-Salicetti, S., Beumier, C., Chollet, G., Dorizzi, B., Leroux les Jardins, J., Lunter, J., ... Petrovska-Delacrétaz, D. (2003). BIOMET: A Multimodal Person Authentication Database Including Face, Voice, Fingerprint, Hand and Signature Modalities. *AVBPA 2003*, 2688, 845–853.
- García-Rudolph, A. & Gibert, K. (2016). Understanding effects of cognitive rehabilitation under a knowledge discovery approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 55, 165–185. doi: 10.1016/j.engappai.2016.06.007.
- Garbach, K., Milder, J., Montenegro, M., Karp, D. y DeClerck, F. (2014). *Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems*. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. Volume 2: Pages 21–40.
- Meruane N. (2005). Flujos Turbulentos Ren´e Garreaud S. Carolina U.CHILE
- Garrett, R., Niles, M., Gil, J., Dy, P., Reis, J., & Valentim, J. (2017). Policies for Reintegrating Crop and Livestock Systems: A Comparative Analysis. *Sustainability*,

9(3), 473.

- Gazzano, I., Altieri, M. A., Achkar, M., & Burgueño, J. (2014). Holistic Risk Index: A Case Study of Cattle Producers in the Protected Area of Farrapos Estuaries—Uruguay. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 209-223.
- GCP/RLA/139/JPN (2003). Proyecto Regional “Ordenamiento Territorial Rural Sostenible. *Evaluación de tierras con metodologías de FAO*. Santiago de Chile: FAO.
- Geels, F. W. (2004). *From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Research Policy*. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733304000496?via%3Dihub>.
- Gerdessen, J & Pascucci, S. (2016). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems*, 118, 78–90.
- Giambelluca, T.W., Scholz, F.G., Bucci, S.J., Meinzer, F.C., Goldstein, G., Hoffmann, W.A., Franco, A.C., & Buchert, M.P. (2009). Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1365–1376.
- Giampietro, M., Mayumi, K., & Sorman A. (2012). Energy Analysis for a Sustainable Future: The Multi-scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism. *Routledge*.
- Gil, N. L. Q. y Valencia, C. A. (2012). Aplicación del proceso de KDD en el contexto de bibliomining: El caso Elogim/KDD application process in the context of bibliomining: Elogim case. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35(1), 97.
- Gill, G. C., Olsson, L. E., Sela, J., y Suda, M. (1967). Accuracy of wind measurements on towers or stacks. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 48(9), 665.
- Gilmanov, T. G., Johnson, D. A., y Saliendra, N. Z. (2003). Growing season CO₂ fluxes in a sagebrush-steppe ecosystem in Idaho: bowen ratio/energy balance measurements and modeling.” *Basic and Applied Ecology*, 4: 167–183. 11, 170
- Gilmanov, T. G., Soussana, J. F., Aires, L., Allard, V., Ammann, C., Balzarolo, M., Barcza, Z., Bernhofer, C., Campbell, C. L., Cernusca, A., Cescatti, A., Clifton-Brown, J., Dirks, B. O. M., Dore, S., Eugster, W., Fuhrer, J., Gimeno, C., Gruenwald, T., Haszpra, L., Hensen, A., Ibrom, A., Jacobs, A. F. G., Jones, M. B., Lanigan, G., Laurila, T., Lohila, A., Manca, G., Marcolla, B., Nagy, Z., Pilegaard, K., Pinter, K., Pio, C., Raschi, A., Rogiers, N., Sanz, M. J., Stefani, P., Sutton, M., Tuba, Z., Valentini, R., Williams, M. L., y Wohlfahrt, G. (2007). Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121: 93–120.

- Giraldo, R., Nieto, L. E., y Quiceno, Á. (2015). Evaluación de atributos de sustentabilidad de sistemas de producción campesinos en la vereda El Mesón, municipio de Palmira, Valle del Cauca (Colombia). *Libre Empresa*, 12(1), 111-135.
- Gliessman, S. R. (1995). 3 Sustainable agriculture: An agroecological perspective. *Advances in Plant Pathology*, 45-57.
- Gliessman, S. R. (1998). Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. *Restoration Ecology* (7)2, 212–214.
- Gliessman, S. R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. *Gliessman. —Turrialba, C.R.: CATIE*, 13, 1-359.
- Gliessman, S. R., Engles, E., Krieger R., & Mendez E. (2007) *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC/Taylor and Francis, Print.
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., y Jaffe, R (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, 16(1).
- Göckede, M., Rebmann, C., & Foken, T. (2004). A combination of quality assessment tools for eddy covariance measurements with footprint modelling for the characterisation of complex sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127, 175–188. doi:10.1016/j.agrformet.2004.07.012.
- Gockede, M., Markkanen, T., Hasager, C. B. and Foken, T (2006). Up- to date of a Footprint-Based Approach for the Characterisation of Complex Measurement Sites, *Boundary-Layer Meteorology*, 118, 635-655
- Godber, O. F. & Wall, R. (2014). Livestock and food security: Vulnerability to population growth and climate change. *Global Change Biology*, 20(10), 3092-3102.
- Gómez, L. F., Ríos-Osorio, L., y Eschenhagen, M. L. (2013). Agroecology publications and coloniality of knowledge. *Agronomy for sustainable development*, 33(2), 355-362.
- Gómez, L. F., Ríos-Osorio, L. A., y Eschenhagen, M. L. (2015). Las bases epistemológicas de la agroecología. *Agrociencia* vol. 49 no.6
- González, A.F., A. Calle, J.L. Casanova, J.M. Cuevas. (2004). La actividad de la vegetación en la España peninsular se incremento un diecisiete por ciento durante el periodo 1987-2001. *Teledetección* 21: 47-49.
- González, C. E., Ríos, H., Brunett, L., Zamorano, S., y Villa, C. I. (2006). ¿Es posible evaluar la dimensión social de la sustentabilidad? Aplicación de una metodología en dos comunidades campesinas del valle de Toluca, México. *Convergencia*, 13(40), 107-

139.

- González, R., Sánchez, M. S., Chirinda, N., Arango, J., Bolívar, D. M., Escobar, D., Tapasco, J., y Barahona, R. (2015). *Limitaciones para la implementación de acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en sistemas ganaderos en Latinoamérica*. Livestock Research for Rural Development. Volume 27, Article #249. Recuperado en Octubre 21, 2017, de <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/gonz27249.html>.
- Goodrich, J.P., Oechel, W.C., Gioli, B., Moreaux, V., Murphy, P.C., G. Burba, & Zona, D. (2016). Impact of different eddy covariance sensors, site set-up, and maintenance on the annual balance of CO₂ and CH₄ in the harsh Arctic environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-29, 239-251. doi: 10.106/j.agrformet.2016.07.008.
- Gopar-Merino, L. F. & Velázquez, A. (2016). Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: Estudio de caso del estado de Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas*, (90).
- Gorbea-Portal, S. (2013). Tendencias transdisciplinarias en los estudios métricos de la información y su relación con la gestión de la información y del conocimiento. *Perspectivas em Gestão y Conhecimento*, 3(1), 13-27.
- Gorte, R.W. (2010). Carbon Sequestration in Forests. En: Carnell R (ed.), *The Role of Forests in Carbon Capture and Climate Change*. Nueva York, EUA: Nova Science Publishers. 53-76.
- Gorte, R.W., & Ramseur, J.L. (2010). Forest Carbon Markets: Potential and Drawbacks. En: Carnell R (ed.), *The Role of Forests in Carbon Capture and Climate Change*. Nueva York, EUA: Nova Science Publishers. , 53-76.
- Goulden, M. L. y Crill, P. M. (1997). Automated measurements of CO₂ exchange at the moss surface of a black spruce forest. *Tree Physiology*, 17: 537–542.
- Goulden, M. L., Munger, J. W., FAN, S. M., Daube, B. C., y Wofsy, S. C. (1996). Measurements of carbon sequestration by long-term Eddy Covariance: Methods and a critical evaluation of accuracy. *Global change biology*, 2(3), 169-182.
- Gove, J.H. and D.Y. Hollinger. (2006). Application of a dual unscented Kalman filter for simultaneous state and parameter estimation in problems of surfaceatmosphere exchange. *Journal of Geophysical Research* 111, D08S07, doi: 10.1029/2005JD006021.
- Grady, N. W. (2016). KDD meets Big Data. *In Big Data (Big Data), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 1603-1608).

- Gradojevic, N. & Yang, J. (2000). *The Application of Artificial Neural Networks to Exchange Rate Forecasting: The Role of Market Microstructure Variables*, Working paper 2000-23. Canadá: Bank of Canada.
- Granier, A., Ceschia, E., Damesin, C., Dufrêne, E., Epron, D., Gross, P., Lebaube, S., Le Dantec, V., Le Goff, N., Lemoine, D., Lucot, E., Ottorini, J. M., Pontailler, J. Y. y Saugier, B. 2000. The carbon balance of a young beech forest. *Functional Ecology*, 14: 312 - 325.
- Greenwood, P. L., y Bell, A. W. (2014). Consequences of nutrition during gestation, and the challenge to better understand and enhance livestock productivity and efficiency in pastoral ecosystems. *Animal Production Science*, 54(9), 1109-1118.
- Griffon, D. (2009). Evaluación sistémica de agroecosistemas: El índice Agroecológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 4(2).
- Gruters, R. A. (2005). HIV and Smallpox. *Science*, 308(5726).
- Gu, L., Falge, E. M., Boden, T., Baldocchi, D. D., Black, T. A., Saleska, S. R., Suni, T., Verma, S. B., Vesala, T., Wofsy, S. C., and Xu, L. (2005). Objective threshold determination for nighttime eddy flux filtering, *Agric. Forest Meteorol.*, 128, 179–197
- Gu, L. (2013). An eddy covariance theory of using O₂ to CO₂ exchange ratio to constrain measurements of net ecosyste Exchange of any gas species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 176(1), 104-110.
- Gudyka, S., Grzybek, G., Gryboś, J., Indyka, P., Leszczyński, B., Kotarba, A., & Sojka, Z. (2017). Enhancing the deN 2 O activity of the supported Co 3 O 4| α-Al 2 O 3 catalyst by glycerol-assisted shape engineering of the active phase at the nanoscale. *Applied Catalysis B: Environmental*, 201, 339-347.
- Guerrero, A., & Ospino, V. P. (2017). *Evaluación de materias primas alternativas como suplemento para la reducción de metano (CH₄) en el ganado blanco orejinegro (BON)*. Tesis de Pregrado. Ocaña, Colombia: Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Haas, G., Wetterich, F., & Köpke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83(2001), 43–53.
- Haas Y, Pszczola M, Soyeurt H, Wall E, & Lassen J. (2017). Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *Dairy Sci* 2017; 100: 1-16.
- Haller, T., Van Dijk, H., Bollig, M., Greiner, C., Schareika, N., y Gabbert, C. (2016). Conflicts, security and marginalisation: institutional change of the pastoral commons in

- a'glocal'world. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 405.
- Ham, J. M. y A.K. Knapp. (1998). Fluxes of CO₂, water vapor and energy from a prairie ecosystem during the seasonal transition from carbon sink to carbon source. *Agricultural and Forest Meteorology* 89: 1-14.
- Hamann, M., Biggs, R. & Reyers, B. (2015). Mapping social–ecological systems: Identifying ‘green-loop’ and ‘red-loop’ dynamics based on characteristic bundles of ecosystem service use. *Global Environmental Change*, 34, 218-226.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data Mining. Third Edition*. USA: Morgan Kaufmann.
- Haniff, M.H., Ibrahim, A., Jantan, N.M., Shahabudin, N., Mos, H., & Yusup, Y. (2016). Carbon dioxide and energy fluxes above an oil palm canopy in peninsular Malaysia. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 9(2), 137-146.
- Harrington, J. L. (2016). *Relational Database Design and Implementation. Fourt Edition*. USA: Morgan Kaufmann.
- Hart, R. D. (1981). *Sistemas de producción bovina con énfasis en leche*. En Curso Intensivo en Sistemas de Producción Bovina con Énfasis en Leche 2-5 Dic 1981 Turrialba (Costa Rica) (No. RISPAL-0111). CATIE, Turrialba (Costa Rica) Foundation WK Kellogg, Battle Creek, Mich. (EUA) BID, Washington, DC (EUA).
- Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas* (No. 1). Costa Rica: CATIE.
- Hart, A. K., McMichael, P., Milder, J. C., & Scherr, S. J. (2015). Multi-functional landscapes from the grassroots? The role of rural producer movements. *Agric Hum Values Agriculture and Human Values*, 33(2), 305-322.
- Hasting, S. J., Oechel, W. C. y Muhlia-Melo, A. 2005. Diurnal, seasonal and annual variation in the net ecosystem CO₂ exchange of a desert shrub community (Sarcocaulis) in Baja California, Mexico. *Global Change Biology*, 11: 1-13.
- Hecht, S. (1999). La evolución del pensamiento agroecológico. *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*, 4, 15-30.
- Heckerman, D. (1997). Bayesian network for data mining. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1, 79–119.
- Heilman, J. L., Brittin, C. L. y Neale, C. M. U. 1989. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44: 261-273.
- Hein, L., Koppen, C. V., Ierland, E. C., & Leidekker, J. (2016). Temporal scales, ecosystem dynamics, stakeholders and the valuation of ecosystems services. *Ecosystem Services*,

- 21, 109-119.
- Helbig, M., Wischniewski, K., Gosselin, G.H., Biraud, S.C., Bogoev, I., Chan, W.S., ... Sonntag, O. (2016). Addressing a systematic bias in carbon dioxide flux measurements with the EC150 and the IRGASON open-path gas analyzers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-229, 349-359.
- Hellsten, A., Luukkonen, S., Steinfeld, G., Kanani-Sühring, F., Markkanen, T., Järvi, L. ... Raasch, S. (2015). Footprint Evaluation for Flux and Concentration Measurements for an Urban-Like Canopy with Coupled Lagrangian Stochastic and Large-Eddy Simulation Models. *Boundary-Layer Meteorol* 157(1), 191-217. doi:10.1007/s10546-015-0062-4.
- Hensen, A., Groot, T., Bulk, W. V., Vermeulen, A., Olesen, J., & Schelde, K. (2006). Dairy farm CH₄ and N₂O emissions, from one square metre to the full farm scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 146-152.
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thornton, P. K., ... & Obersteiner, M. (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20888-20893.
- Herrera-Jaramillo, M., Méndez, Y., Tobón, G., y Sierra, A. (2016). Ni pequeño productor, ni agricultor familiar, soy campesino. A. Beltrán., F. Osorio., G. Uribe., J. Ferro., J. Herrera., M. Cadavid.,... O. Castillo (Ed.). *Dime qué Paz quieres y te diré qué campo cosechas: reflexiones sobre lo rural en los diálogos de La Habana*, 149-177.
- Herrero, M., Addison, J., Bedelian, C., Carabine, E., Havlík, P., Henderson, B., & Thornton, P. K. (2016). Climate change and pastoralism: impacts, consequences and adaptation. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 417.
- Heusinger, J. & Weber, S. (2017). Surface energy balance of an extensive Green roof as quantified by full year eddy-covariance measurements. *Science of the Total Environment*, 577, 220-230. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.168.
- Hevia, V., Martín-López, B., Palomo, S., García-Llorente, M., de Bello, F., & González, J. (2017). Trait-based approaches to analyze links between the drivers of change and ecosystem services: Synthesizing existing evidence and future challenges. *Ecology And Evolution*, 7(3), 831-844. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.2692>.
- Hill, T., Chocholek, M. & Clement, R. (2015). The case for increasing the statistical power of eddy covariance ecosystem studies: why, where and how?. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/gcb.13547.
- Hirano, T., Suzuki, K. & Hirata, R. (2017). Energy balance and evapotranspiration changes

- in a larch forest caused by severe disturbance during an early secondary succession. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232(1), 457-468.
- Hoare, C. E. (1996). Appreciation for a system. *The TQM Magazine*, 8(4), 20-23.
- Hoffmann, I. (2010). Livestock biodiversity. *Revue scientifique et technique*, 29(1), 73.
- Hoffman, I., From, T., y Boerma, D. (2014). *Ecosystem services provided by livestock species and breeds, with special consideration to the contributions of small-scale livestock keepers and pastoralists*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-at598e.pdf>.
- Hoffman, F. M., Kumar, J., Mills, R. T., & Hargrove, W. W. (2013). Representativeness-based sampling network design for the State of Alaska. *Landscape Ecology*, 28(8), 1567-1586.
- Hollinger, D.Y., J. Aber, B. Dail, E.A. Davidson, S.M. Goltz, H. Hughes, M.Y. Leclerc, J.T. Lee, A.D. Richardson, C. Rodrigues, N.A. Scott, D. Achuatavarier, J. Walsh. (2004). Spatial and temporal variability in forest-atmosphere CO₂ exchange. *Global Change Biology* 10: 1689–1706.
- Hollinger D., Kelliher FM, Schulze E-D, Vygodskaya NN, Varlagin A, Milukova I, Byers JN, Sogachov A, Hunt JE, McSeveny TM, Kobak KI, Bauer G, Arneeth A (1995) Initial assessment of multi-scale measures of CO₂ and H₂O flux in the Siberian taiga. *Journal of Biogeography*, 22, 425-431.
- Hollinger, D. and Richardson, A. D.(2005). Uncertainty in eddy covariance measurements and its application to physiological models, *Tree Physiology*, 25, 873–885
- Hölttä, T., Cochard, H., Nikinmaa, E., y Mencuccini, M. (2009). Capacitive effect of cavitation in xylem conduits: results from a dynamic model. *Plant, Cell and Environment*, 32: 10–21.
- Holzinger, A. & Zupan, M. (2013). KNODWAT: A scientific framework application for testing knowledge discovery methods for the biomedical domain. *BMC Bioinformatics*, Recuperado de: <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/14/191>.
- Horine, J. (1994). Improving the Educational System through Deming's Systems Theory. *In The educational forum, Taylor y Francis Group*, 58(1), 30-35.
- Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., ... & Yang, W. (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera—Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂*. Editado por Pierre J. Gerber. FAO.
- Hsieh, C., Katul, G. and Chi, T. (2000). An approximate analytical model for footprint

- estimation of scalar fluxes in thermally stratified atmospheric flows. *Advances in Water Resources*, 23, 765–772.
- Hu, Y., Gunapati, V. Y., Zhao, P., Gordon, D., Wheeler, N. R., Hossain, M. A., ... French, R. H. (2016). A Nonrelational Data Warehouse for the Analysis of Field and Laboratory Data From Multiple Heterogeneous Photovoltaic Test Sites. *EEE Journal of Photovoltaics*. doi: 10.1109/JPHOTOV.2016.2626919.
- Huang, S., Liu, H., Dahal, D., Jin, S., & Welp, L.R. (2013). Modeling spatially explicit fire impact on gross primary production in interior Alaska using satellite images coupled with eddy covariance. *Remote Sensing of Environment*, 135(1), 178-188.
- Hughes, R. (2016). *Agile Data Warehousing for the Enterprise. A Guide for Solution Architects and Project Leaders*. USA: Morgan Kaufmann, Elsevier.
- Hui, D., S. Wan, B. Su, G. Katul, R. Monson, Y. Luo. (2004). Gap-filling missing data in eddy covariance measurements using multiple imputation (MI) for annual estimations. *Agricultural and Forest Meteorology* 121 (1-2): 93–111.
- Hunt, J. E., Kelliher, F. M., McSeveny, T. M., y Byers, J. N. (2002). Evaporation and carbon dioxide exchange between the atmosphere and a tussock grassland during a summer drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 65–82.
- Hunt, J. E., Kelliher, F. M., McSeveny, T. M., Ross, D. J., y Whitehead, D. (2004). Long-term carbon exchange in a sparse, seasonally dry tussock grassland. *Global Change Biology*, 10: 1785–1800.
- Hume, D. (1985). *Tratado de la naturaleza humana*. España: Orbis.
- Hyson, P., Garratt, J. R., y Francey, R. J. (1977). Algebraic and electronic corrections of measured uw covariance in the lower atmosphere. *Journal of Applied Meteorology*, 16(1), 43-47.
- Ibrahim M., Tobar D., Guerra L., Sepulveda C., Rios N., - MAG (2010) Balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región chorotega
- Inda, A. (2006). *El sistema de W. Edwards Deming para la gestión del mejoramiento de la calidad en las pequeñas y medianas empresas*. Tomo 4 Como gestionar una pyme. Emergia generando emprendedores para el siglo XXI. Prodetur. Recuperado de: http://www.fsalazar.bizland.com/pdf/Emergia%202006_Deming_Inda.pdf.
- Infocampo. (2016). *Lattuca: La agroecología no es para locos, ni para hippies, ni para pobres*. Recuperado en Julio 04, 2017, de <http://www.infocampo.com.ar/lattuca-la-agroecologia-no-es-para-locos-ni-para-hippies-ni-para-pobres/>.
- International Council for Science [ICSU], United Nations Educational, Scientific and Cultural

- Organization [UNESCO] & UNU. (2008). *Ecosystem Change and Human Well-being: Research and Monitoring Priorities Based on the Millennium Ecosystem Assessment*. Recuperado de http://www.icsu.org/publications/reports-and-reviews/ecosystem-change-report/ICSU-UNESCO-UNU_Ecosystem_Report.pdf.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015) *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático - Enfoque Nacional - Departamental*. Recuperado de http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/MedioAmbiente/undp-co-escenarioscambioclima_departamental-2015.pdf?download.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (2012). *Procesamiento de datos medidos con sistema Eddy Covarianza*. Manual de procesamiento no publicado., Buenos Aires, Argentina: INTA.
- Infante-Ramírez, K. D., Arce-Ibarra, A. M., y Bello-Baltazar, E. (2014). *Valoración no monetaria de unidades de paisaje en la zona maya de Quintana Roo, México. Economía, sociedad y territorio*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212014000200002&lng=es&tlng=es.
- Iñamagua-Uyaguari, J. P., Jenet, A., Alarcón-Guerra, L. G., Vilchez-Mendoza, S. J., Casasola-Coto, F., & Wattiaux, M. A. (2016). Impactos económicos y ambientales de las estrategias de alimentación en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 1-17.
- IPCC. (2001). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Montreal, Francia: IPCC.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. A Contribution of working groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Jans, C., Mulwa, K. D., y Meile, L. (2016). Innovations in food preservation in pastoral zones. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 597.
- Janssens, I.A., A. Freiberg, P. Ciais, P. Smith, G. Nabuurs, G. Folberth, B. Schlamadinger, R.W.A. Hutjes, R. Ceulemans, E. Schulze, R. Valentini, A.J. Dolman. (2003). Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions. *Science*. 300: 1538–1542.
- Janssens, I. A., Lankreijer, H., Matteucci, G., Kowalski, A. S., Buchmann, N., Epron, D., Pilegaard, K., Kutsch, W., Longdoz, B., Grünwald, T., Montagnani, L., Dore, S.,

- Rebmann, C., Moors, E. J., Grelle, A., Rannik, Ü., Morgenstern, Oltchev, S., Clement, R., Gudmundsson, J., Minerbi, S., Berbigier, P., Ibrom, A., Moncrieff, J. B., Aubinet, M., Bernhofer, C., Jensen, N. O., Vesala, T., Granier, A., Schulze, E.-D., Lindroth, A., Dolman, A. J., Jarvis, P. G., Ceulemans, R. y Valentini, R. 2001. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global Change Biology*, 7: 269 - 278.
- Jérôme, E. (2014). Balance de carbono de un pastizal pastoreo en el sur de Bélgica: impacto de las condiciones climáticas y de manejo del pastoreo (tesis doctoral). Gembloux, Bélgica: Universidad de Lieja - Gembloux Agro-Bio Tech.
- Jérôme, E., Beckers, Y., Bodson, B., Heinesch, C.M., Aubinet, M. (2014). Impact of grazing on carbón dioxide exchanges in an intensively managed Belgian grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 194(1), 7-16.
- Jerrentrup, J. S., Dauber, J., Strohbach, M. W., Mecke, S., Mitschke, A., Ludwig, J., & Klimek, S. (2017). Impact of recent changes in agricultural land use on farmland bird trends. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 334-341.
- Jiménez, M.E. (2013). *Determinación del balance anual de carbono en UVA de mesa CV. Thompson seedless, utilizando el método de "Eddy covariance"*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.
- JM Industrial (2017). *La importancia del data logger para evitar pérdidas en la empresa*. JMI. Recuperado en Abril 11, 2017, de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/26-la-importancia-del-data-logger-para-evitar-perdidas-en-la-empresa.html>.
- Jones, B.M. (2010). Potential for carbon sequestration in the temperate grassland soils, pp. 1-31. In: Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Proceedings of the workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. Rome, Italy.
- Jones, J. W., Antle, J. M., Basso, B., Boote, K. J., Conant, R. T., Foster, I., ... & Keating, B. A. (2017). Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*, 155, 269-288.
- Kalgotra, P. & Sharda, R. (2016). *Progression analysis of signals: Extending CRISP-DM to stream analytics*. In Big Data (Big Data), 2016 IEEE International Conference on (pp. 2880-2885). IEEE.
- Kao, J., Chan, T., Lai, F., Lin, B., Sun, W., Chang, K., ... Lin, J. (2016). Spatial analysis and data mining techniques for identifying risk factors of Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *International Journal of Information Management*. Doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2016.04.008.

- Kates, R. W. & Wilbanks, T. J. (1999). A grand query: How scale matters in global change research. *Global Change and Local Places*, 3-26. doi:10.1017/cbo9780511535819.003.
- Katul, G., C.T. Lai, K. Schafer, B. Vidakovic, J. Albertson, D. Ellsworth, R. Oren. (2001). Multiscale analysis of vegetation surface fluxes: from seconds to years. *Advances Water Resources* 24: 1119–1132.
- Kaufmann, B. A., Lelea, M. A., y Hulsebusch, C. G. (2016). Diversity in livestock resources in pastoral systems in Africa. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 445.
- Kikas, T., Bunce, R. G., Kull, A., & Sepp, K. (2017). New high nature value map of Estonian agricultural land: Application of an expert system to integrate biodiversity, landscape and land use management indicators. *Ecological Indicators*.
- Kimball, R. & Caserta, J. (2004). *The Data Warehouse ETL Toolkit Practical Techniques for Extracting, Cleaning, Conforming, and Delivering Data*. Estados Unidos: Wiley Publishing, Inc.
- Kirschbaum, M. U., & Mueller, R. (2001). *Net ecosystem exchange: Workshop proceedings, CRC for Greenhouse Accounting, April 2001*. Canberra: CRC for Greenhouse Accounting.
- Kirschbaum, M. U., Schipper, L. A., Mudge, P. L., Rutledge, S., Puche, N. J., & Campbell, D. I. (2017). The trade-offs between milk production and soil organic carbon storage in dairy systems under different management and environmental factors. *Science of The Total Environment*, 577, 61-72
- Kizer, M.A., Elliott, R.L. & Stone, J.F. (1990). Hourly ET model calibration with eddy flux and energy balance data. *J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE* 116(2), 172-181.
- Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M.W. and Schmid, H.P. (2004). A simple parameterization for flux footprint predictions. *Boundary-Layer Meteorology*, 112, 503– 523.
- Koebisch, F., Jurasinski, G., Koch, M., Hofmann, J., & Glatzel, S. (2015). Controls for multi-scale temporal variation in ecosystem methane exchange during the growing season of a permanently inundated fen. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204, 94-105.
- Kok, J. N., Koronacki, J., Lopez de Mantaras, R., Matwin, S., Mladenic, D. & Skowron, A. (2007). Knowledge Discovery in Databases: PKDD 2007. *11th European Conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*.
- Koninck, R. D. (1993). *Les mots de la géographie, dictionnaire critique. Montpellier/Paris/Reclus/La Documentation Française*, 470 p. (ISBN 2-11-002852-1). Cahiers De Géographie Du Québec, 37(102), 591.

- Kowalski, A. S. (2006). Comment on "An alternative approach for CO₂ flux correction caused by heat and water vapour transfer" by Liu. *Boundary Layer Meteorology*, 120: 353–355. 6, 25, 51
- Kowalski, A. S., Anthoni, P. M., y Vong, R. J. (1997). Deployment and evaluation of a system for ground-based measurements of cloud liquid water turbulent fluxes. *American Meteorological Society*, 14: 468–479.
- Kowalski, A. S., Loustau, D., Berbigier, P., Manca, G., Tedeschi, V., Borghetti, M., Valentini, R., Kolari, P., Berninger, F., Rannik, u., Hari, P., Rayment, M., Mencuccini, M., Moncrieff, J., y Grace, J. (2004). Paired comparisons of carbon exchange between undisturbed and regenerating stands in four managed forests in Europe. *Global Change Biology*, 10: 1707–1723. 98, 183.
- Kowalski, A. S., Sartore, M., Burlett, R., Berbigier, P., y Loustau, D. (2003). The annual carbon budget of a French pine forest (*Pinus Pinaster*) following harvest. *Global Change Biology*, 9: 1051–1065. 33, 188
- Kowalski, A. S. y Serrano-Ortiz, P. (2007). On the relationship between the eddy covariance, the turbulent flux, and surface exchange for a trace gas such as CO₂. *Boundary Layer Meteorology*, 124: 129–141
- KrÄtli, S. (2016). Discontinuity in pastoral development: time to update the method. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 485.
- Krishna, K. R (2013). *Agroecosystems: soils, climate, crops, nutrient dynamics and productivity*. U.S.A.: CRC Press.
- Krishnan, K. (2013). *Data Warehousing in the Age of Big Data*. United States of America: Morgan Kaufmann, Elsevier.
- Kristensen, S. B. (2016). Agriculture and landscape interaction—landowners' decision-making and drivers of land use change in rural Europe. *Land Use Policy*, 57, 759-763.
- Krumme, K. (2006). EFU-Ecological Functional Units: A Basis for Sustainable Development Planning. *FWU Water Resources Publications*, 5, 17-28.
- Kum, H. C., Stewart, C. J., Rose, R. A., y Duncan, D. F. (2015). Using big data for evidence based governance in child welfare. *Children and Youth Services Review*, 58, 127-136.
- Kumar, J., Hoffman, F. M., Hargrove, W. W., & Collier, N. (2016). Understanding the representativeness of FLUXNET for upscaling carbon flux from *Eddy Covariance* measurements. *Earth System Science Data Discussions*, 1-25. doi:10.5194/essd-2016-36, 2016.
- Kunwor, S., Starr, G., Loescher, H.W., & Staudhammer, C.L. (2017). Preserving the

- variance in imputed eddy-covariance measurements: Alternative methods for defensible gap filling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 635-649. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.10.018.
- Kuntz, R. (2015). Derechos y cambio económico. *Eidos*, 23, 49-67.
- Kutzbach, L., Wille, C., & Pfeiffer, E.-M. (2007). The exchange of carbon dioxide between wet arctic tundra and the atmosphere at the Lena River Delta, Northern Siberia. *Biogeosciences*, 4, 869–890.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geodermatology*, 123(1-2): 1–22. 104.
- Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R. F., y Stewart, B. A. (2001). Assessment method for soil carbon. *Advances in Soil Science*, Lewis Press: Boca Raton, FL.
- LaDeau, S. L., Han, B. A., Rosi-Marshall, E. J., & Weathers, K. C. (2017). The next decade of big data in ecosystem science. *Ecosystems*, 1-10. doi: 10.1007/s10021-016-0075-y.
- Lagrosen, Y., & Travis, F. T. (2015). Exploring the connection between quality management and brain functioning. *The TQM Journal*, 27(5), 565-575.
- Lama, S. (2016). *Design and sustainability assessment of bioenergy double cropping system in southern Sweden*. Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Lambers, H., Chapin, F. S., y Pons, T. L. (1998). *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, 540 pp. 1
- Lampkin, N., Pearce, B., Leake, A., Creissen, H., Gerrard, C., Girling, R., Lloyd, S., Padel, S., Smith, J., Smith, L., Vieweger, A. y Wolfe, M. (2015). *The Role of Agroecology in Sustainable Intensification*.
- Lankester, F., & Davis, A. (2016). Pastoralism and wildlife: historical and current perspectives in the East African rangelands of Kenya and Tanzania. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 35(2), 473-484.
- Lara, J. A., Lizcano, D., Martínez, M. A., Pazos, J., & Riera, T. (2014). A UML profile for the conceptual modelling of structurally complex data: Easing human effort in the KDD process. *Information and Software Technology*, 56(3), 335-351.
- Laterra, P., EugeniaOrúe, M., Zelaya, D. K., Booman, G., & Cabria, F. (2009). Jerarquización y mapeo de pastizales según su provisión de servicios ecosistémicos. *Campos Sulinos*, 128.
- Lausch, A., Schmidt, A., & Tischendorf, L. (2014). Data mining and linked open data—New perspectives for data analysis in environmental research. *Ecological Modelling*, 295, 5–17.

- Law, B.E., E. Falge, L. Gu, D.D. Baldocchi, P. Bakwin, P. Berbigier, K.J. Davis, H. Dolman, M. Falk, J. Fuentes, A.H. Goldstein, A. Granier, A. Grelle, D.Y. Hollinger, I. Janssens, P. Jarvis, N.O. Jensen, G. Katul, Y. Malhi, G. Matteucci, R. Monson, J.W. Munger, W. Oechel, R. Olson, K. Pilegaard, U.K.T. Paw, H. Thorgeirsson, R. Valentini, S.B. Verma, T. Vesala, K. Wilson, S. Wofsy. (2002). Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 113: 97–120.
- Law, B. E., Kelliher, F. M., Baldocchi, D. D., Anthoni, P. M., Irvine, J., Moore, D., y Van Tuyl, S. (2001). Spatial and temporal variation in respiration in a young Ponderosa pine forest during a summer drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110: 27–43.
- Lawrence, R., & Wright, A. (2001). Rule-Based Classification Systems Using Classification and Regression Tree (CART) Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(10), 1137–1142.
- Lebel, L., Lorek, S., & Daniel, R. (2010). *Sustainable Production Consumption Systems Knowledge, Engagement and Practice*. Dordrecht, Holanda: Springer Netherlands.
- Leclerc, M. Y., & Foken, T. (2014). *Footprints in micrometeorology and ecology*. U.S.A.: Springer.
- Lee, H., Aydin, N., Choi, Y., Lekhavat, S., & Irani, Z (2017). *A Decision Support System for Vessel Speed Decision in Maritime Logistics using Weather Archive Big Data*. *Computers y Operations Research*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.005>.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P. C. de F., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 190, 4–8. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Lenschow, D.H., Mann, J., Kristensen, L. (1994). How long is long enough when measuring fluxes and other turbulent statistics?. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 11, 661–673.
- León, T. (2012). *Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas-la perspectiva ambiental*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales IDEA.
- Leopold, A., Marchand, C., Renchon, A., Deborde, J., Quiniou, T., & Allenbach, M. (2016). Net ecosystem CO₂ exchange in the “Coeur de Voh” mangrove, New Caledonia: Effects of water stress on mangrove productivity in a semi-arid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223(1), 217-232.
- Leos-Rodríguez, J. A., Serrano-Páez, A., Salas-González, J. M., Ramírez-Moreno, P. P., y

- Sagarnaga-Villegas, M (2008). Caracterización de ganaderos y unidades de producción pecuaria beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 5(2), 213-230.
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A., Bardy, M., Baudry, J., & Soussana, J. (2015). A social–ecological approach to managing multiple agroecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75.
- Levin, A.; Leen T., & Moody J. (1994). *Fast Pruning Using Principal Components*. *Advances in Neural Information Processing*, 6, J. Cowan, G. Tesauro and J. Alspector, eds., Morgan Kaufmann, San Mateo, C.A.
- Liebman, S., Magdoff, M., Norgaard, F., Sikor, R., Y Thomas, O. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Uruguay: Editorial Nordan–Comunidad.
- Linstedt, D. & Olschimke, M. (2015). *Building a Scalable Data Warehouse with Data Vault 2.0*. USA: Morgan Kaufmann.
- Li, S.-G., J. Asanuma, W. Eugster, A. Kotani, J.-J. Lui, T. Urano, T. Oikawa, G. Davaas, D. Oyubaatars, M. Sugita. (2005). Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology* 11: 1941-1955.
- Liu, H., Peters, G., & Foken, T. (2001): New Equations for Sonic Temperature Variance and Buoyancy Heat Flux with an Omnidirectional Sonic Anemometer. *Boundary Layer Meteorology*, 100, 459-468.
- Liu, Q., Edwards, N. T., Post, W. M., Gu, L., Ledford, J. y Lenhart, S. (2006). Temperature-independent diel variation in soil respiration observed from a temperate deciduous forest. *Global Change Biology*, 12(11): 2136-2145.
- Liu, H.Z., J.W. Feng, L. Järvi, T. Vesala. (2012). Four-year (2006-2009) eddy covariance measurements of CO₂ flux over an urban area in Beijing. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12: 7881-7892.
- Liu, S., Zhuang, Q., He, Y., Noormets, A., Chen, J., & Gu, L. (2016). Evaluating atmospheric CO₂ effects on gross primary productivity and net ecosystem exchanges of terrestrial ecosystems in the conterminous United States using the AmeriFlux data and an artificial neural network approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 20 (1), 38-49.
- Livingston, G. P. y Hutchinson, G. L. (1995). Enclosure-based measurements of trace gas exchange: applications and source of error. *Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water* (eds Matson P. A., Harriss R. C.), Blackwell Science, London: 14–51.

- Llambí, L. (2013). Procesos de transformación de los territorios rurales latinoamericanos: los retos de la interdisciplinariedad. *Eutopía-Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 3, 117-134.
- Llanes-Santiago, O., Prieto, A., Camps L., Bernal J. M., Irizar, M., Barredo E., Rodríguez, A., ... Haug, C. (2016). Aplicaciones de Inteligencia Artificial y Minería de Datos de Diagnóstico de Fallos y Estimación de Parámetros. *Comunicación Corta Premio ACC 2015*, 6(3).
- Lloyd, J. & Taylor J.A. (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8, 315–323.
- Lohr, S. (2015). Red beads and profound knowledge: Deming and quality of education. *Education policy analysis archives*, 23, 80.
- Lopata, L. (1968). The Structure of Time and the Share of Physical Education in the Case of Industrial Workers and Cooperative Farmers in the C.S.S.R. *International Review for the Sociology of Sport*, 3(1), 17-37.
- López, O. C. (2014) Methodological procedures for implementing the process of environmental management in Cuba. *Mercator*, 13(02), 209-226.
- Lopez, M. E. A., Dapozo, G. N., Irrazabal, E. A., y Greiner, C. L. (2016). Proceso de Explotación de Información para Análítica Académica en FaCENA-UNNE. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 4(6), 243-251.
- López-Corona, O., Escolero, O., Morales-Casique, E., Padilla, P., & González, T. (2016). Data Mining of Historic Hydrogeological and Socioeconomic Data Bases of the Toluca Valley, Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 522-533. doi: 10.4236/jwarp.2016.84044.
- Lohr, S. (2015). Red beads and profound knowledge: Deming and quality of education. *Education policy analysis archives*, 23, 80.
- Lowry, D., Holmes, C. W., & Rata, N. D. (2001). London methane emissions: Use of diurnal changes in concentration and $\delta^{13}\text{C}$ to identify urban sources and verify inventories. *Journal of Geophysical*, 106(D7), 7427-7448.
- Lui, M., Wu, J., Zhu, X., He, H., Jia, W., & Xiang, W. (2015). Evolution and variation of atmospheric carbon dioxide concentration over terrestrial ecosystems as derived from eddy covariance. *Atmospheric Environment*, 114(1), 75-82.
- Lund, C. P., Riley, W. J., Pierce, L. L., y Field, C. B. (1999). The effects of chamber pressurization on soil-surface CO₂ flux and the implications for NEE measurements under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 5: 269– 281

- López, O. C. (2014) Methodological procedures for implementing the process of environmental management in Cuba. *Mercator*, 13(02), 209-226.
- Lovell, S. T., Desantis, S., Nathan, C. A., Olson, M. B., Méndez, V. E., Kominami, H. C., & Morris, W. B. (2010). Integrating agroecology and landscape multifunctionality in Vermont: An evolving framework to evaluate the design of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 103(5), 327-341.
- Madnick, S. E., Wang, R. Y., Lee, Y. W. & Zhu, H. (2009). Overview and Framework for Data and Information Quality Research. *ACM Journal of Data and Information Quality*, 1(1). doi: 10.1145/1515693.1516680.
- Madrid, C., Cabello, V., & Giampietro M., (2013). Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*. 63 (1): 14-24.
- Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Maguad, B. A. (2011). Deming's Profound Knowledge': Implications for Higher Education. *Education*, 131(4), 768.
- Mahecha, L., Gallego, L. A., & Peláez, F. J. (2016). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213-225.
- Malagón, R., & Prager, M. (2001). *El enfoque de sistemas: Una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Malhi, Y., Nobre, A. D., Grace, J., Kruijt, B., Pereira, M. G. P., Culf, A., & Scott, S. (1998). Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, 103(D4), 31593-31612.
- Malizia, P., Cannavale, C., & Maimone, F. (2017). *Evolution of the post-bureaucratic organization*. Hershey, PA: IGI Global, Business Science Reference. doi:10.4018/978-1-5225-1983-6.
- Mäkela, J, Susiluoto, J., Markkanen, T., Aurela, M., Järvinen, H., Mammarella, I. ... Aalto, T. (2016). Constraining ecosystem model with adaptive Metropolis algorithm using boreal forest site eddy covariance measurements. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 23(1), 447-465.
- Mamadou, O., Gourlez de la Motte, L., De Ligne, A., Heinesch, B., & Aubinet, M. (2016). Sensitivity of the annual net ecosystem Exchange to the cospectral model used for high frequency loss corrections at a grazed grassland site. *Agricultural and Forest*

- Meteorology*, 228(1), 360-369.
- Mann, J., Lenschow, D.H. (1994). Errors in airborne flux measurements. *J. Geophys. Res.* 99(D7), 14,519–14,526.
- Marbán, O. (2003). *Modelo matemático paramétrico de estimación para proyectos de data mining (DMCOMO)*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Marcano, Y. J., Talavera, R. (2007). Minería de Datos como soporte a la toma de decisiones empresariales. *Opción*, Año 23, 52, 104-118.
- Marcolla, B., Cescatti, A., Montagnani, L., Manca, G., Kerschbaumer, G., and Minerbi, S. (2005). Importance of advection in the atmospheric CO₂ exchanges of an alpine forest, *Agric. Forest Meteorol.*, 130, 193–206
- Marín, A. M. C., Herrera, N. M. R., Quiñones, A. J. P., Builes, V. H. R., Salazar, A. V., Casas, A. F., & Vinasco, G. A. G. (2017). Energy, water vapor and carbon fluxes in Andean agroecosystems: conceptualization and methodological standardization. *Acta Agronómica*, 66(1).
- Marpegán, C. M., Mandón, M. J., & Pintos, J. C. (2009). *El placer de enseñar tecnología. Actividades de aulas para docentes inquietos*. 1ª ed. 3ª reimp. Buenos Aires, Argentina: Centro e publicaciones educativas y material didáctico.
- Márquez C, G. & Valenzuela, E. (2008). Estructura ecológica y ordenamiento territorial ambiental: aproximación conceptual y metodológica a partir del proceso de ordenación de cuencas. *Gestión y Ambiente*, 11(2). Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13989>.
- Parámetros* de* rugosidad* representativos*
de*terrenos*naturales
Maria%Marrero%Santana Mayo!2011Universidad de Granada
- Marten, G. (2001). *Ecología Humana: conceptos básicos para el desarrollo sustentable*. Canadá: Earthscan Publications.
- Martens, C., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. S. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. De Moraes, and R. L. Lima. (2004). Radon fluxes in tropical forest ecosystem of brazilian Amazonia: night–time CO₂ net ecosystem exchange derived from random and eddy covariance methods. *Global Change Biol.* 10: 618–629.
- Martens, P.; Mcevoy, D. & Chang, C. (2009). The Climate Change Challenge: Linking Vulnerability, Adaptation, and Mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 14–18.

- Martin, K. & Sauerborn, J. (2013). *Agroecology*. Dordrecht, Holanda: Springer. doi 10.1007/978-94-007-5917-6.
- Martín-López, B., & Montes, C. (2010) 5.1. *Los sistemas socio-ecológicos: entendiendo las relaciones entre la biodiversidad y el bienestar humano*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Martín-López, B., y Montes, C (2011). *Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. Observatorio de la Sostenibilidad en España*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Martínez, C.A., Khare, K., Rahman, S., & Elzo, M.A. (2017). Inferring the partial correlation structure of allelic effects and incorporating it in genome-wide prediction. *arXiv preprint*, arXiv:1705.02026. <https://arxiv.org/abs/1705.02026>.
- Martínez, R. (2013). *Prospectiva para el modelo de desarrollo agroecológico de Galápagos*. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Planificación y Dirección Estratégica).
- Martínez-Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89.
- Martínez-Castillo, R. (2009). *Atributos agroecológicos de sustentabilidad: manejo comparativo indígena y convencional*. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.yorku.ca/hdrnet/images/uploaded/Martinez_Castillo_Roger.pdf Fecha de consulta, 12-12.
- Martos Peinado, J. (2004). *Estadística: Conceptos, Práctica Aplicada y Ejercicios*. Departamento de Estadística y Organización de Empresas. España: Universidad de Córdoba.
- Masala, C. (2013). *Las estrategias de Hermes. Hacia una comprensión de las Redes Sociales*. 1ed Dunken. Buenos Aires, Argentina.
- Masera, O., Astier, M., y López-Ridaura, S. (2000). *El marco de evaluación MESMIS. Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*. Omar M. y S. López-Ridaura (eds.). GIRA AC/Mundi-Prensa/PUMA, México.
- Massman, W. J. and Lee, X.(2002). Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges, *Agric. Forest Meteorol.*, 113, 121–144
- Masseroni, D., Corbari, C., Ceppi, A., Gandolfi, C., & Mancini, M. (2013). Operative use of

- eddy covariance measurements: are high frequency data indispensable?. *Procedia Environmental Sciences* 19, 293-302. doi: 10.1016/j.proenv.2013.06.034.
- Massman, W. J. (2000). A simple method for estimating frequency response corrections for eddy covariance systems. *Agriculture and Forest Meteorology* 104, 185 – 198.
- Massman, W. & Clement, R. (2004). *Uncertainty in Eddy Covariance Flux Estimates Resulting from Spectral Attenuation*. In: X. Lee, W.J. Massman and B. Law (Editors),
- Massman, W.J. & Lee, X. (2002). Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113, 121–144.
- Matthes, J. H., Knox, S. H., Sturtevant, C., Sonnentag, O., Verfaillie, J., & Baldocchi, D. (2015). Predicting landscape-scale CO₂ flux at a pasture and rice paddy with long-term hyperspectral canopy reflectance measurements. *Biogeosciences*, 12(15), 4577.
- Matthews, C. (2006). *La ganadería amenaza el medio ambiente*. Oficina de prensa, FAO. Consultado, v12. Recuperado de: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.
- Mauder, M., & Foken, T. (2015). *Documentation and Instruction Manual of the Eddy-Covariance Software Package TK3 (update)*. Univ., Abt. Mikrometeorologie.
- Mauder, M., Cuntz, M., Drüe, C., Graf, A., Rebmann, C., Schmid, H. P., & Steinbrecher, R. (2013). A strategy for quality and uncertainty assessment of long-term eddy-covariance measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 122-135.
- Mauro, J. A., & Mauro, N. J. (1999). The Deming leadership method: A behavioural and technical approach. *Cross cultural management: an international journal*, 6(4), 37-44.
- Mayaud, J.R., Giles, Wiggs, F.S. & Bailey, R. M. (2016). A field-based parameterisation of wind flow recovery in the lee of dryland plants. doi: 10.1002/esp.4082.
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*, Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-43922014000300004&lng=es&tlng=es.
- McCollin, C., Ograjenšek, I., Göb, R., & Ahlemeyer-Stubbe, A. (2011). SERVQUAL and the process improvement challenge. *Quality and reliability engineering international*, 27(5), 705-717.
- McNaughton, S. J., Oesterheld, M., Frank, D. A., & Williams, K. J. (1989). Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature*, 341(6238), 142-144.

- Méndez, V. E., Bacon, C. M., y Cohen, R. (2013). La agroecología como un enfoque transdisciplinario, participativo y orientado a la acción. *Agroecología*, 8(2), 9-18.
- Méndez, V., Bacon, C., & Cohen, R. (2015). *Introduction: Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-oriented Approach. Advances in Agroecology Agroecology A Transdisciplinary, Participatory and Action-oriented Approach*. Estados Unidos: CRC Press Taylor & Francis Group, 1-22.
- Meshalkina, J., Yaroslavtsev, A., Mazirov, I., Samardzic, M., Valentini, R., y Vasenev, I. (2015). Central Russia agroecosystem monitoring with CO₂ fluxes analysis by Eddy Covariance method. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 211.
- Metzger, S., Burba, G., Burns, S.P., Blanken, P.D., Li, J., Luo, H., & Zuleta, R.C. (2016). Optimization of an enclosed gas analyzer sampling system for measuring eddy covariance fluxes of H₂O and CO₂. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(1), 1341-1359.
- Mezzanzanica, M., Boselli, R., Cesarini, M., & Mercurio, F. (2015). A model-based evaluation of data quality activities in KDD. *Information Processing & Management*, 51(2), 144-166.
- Mijangos, I., Vicente, F., Modroño, S., Anza, M., y Garbisu, C. (2015). *Diagnóstico comparativo de la salud agroecosistémica bajo diferentes sistemas de abonado para el cultivo de maíz*. España: 54^a Reunión Científica de la Sociedad Española Para el Estudio de los Pastos.
- Milz, J. (2009). *Práctica de sistemas productivos sostenibles en ecosistemas foresta les tropicales teniendo en cuenta la sucesión natural de las especies*. En: Seminario sobre Protección del Bosque Tropical y Forestería Sostenible — ¿Una contradicción o una medida razonable para la protección del bosque tropical?. La Paz - Bolivia, 12 de junio de 2009.
- Miquelajauregui, Y. (2013). Modelos de simulación de la dinámica del carbono. En J.A. Blanco (Ed.). *Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales*, 15-38. doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.173>.
- Moffat, A. M., Becksteinw, C., Churkina, G., Mund, M., & Heimann, M. (2010). Characterization of ecosystem responses to climatic controls using artificial neural networks. *Global Change Biology*, 16, 2737–2749, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02171.x.
- Moine, J. M. (2013). *Metodologías para el descubrimiento de conocimiento en bases de*

- datos: un estudio comparativo*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10915/29582>.
- Molano, M. T. (2012). *Caracterización nutricional de forrajes tropicales usando Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS)*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias Coordinación General de Posgrados Palmira-Valle. Tesis de Maestría.
- Mohamed, E. S., Saleh, A. M., & Belal, A. A. (2014). Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(1), 1–15. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.05.001>.
- Moncrieff, J., Malhi, Y., & Leuning, R. (1996). The propagation of errors in long-term measurements of land-atmosphere fluxes of carbon and water. *Global Change Biology*, 2(3), 231-240.
- Moncrieff, J. B., Massheder, J. M., De Bruin, H., Elbers, J., Friborg, T., Heusinkveld, B., Kabat, P., Scott, S., Soegaard, H. & Verhoef, A. (1997). A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. *Journal of Hydrology*, 188 – 189, 589 – 611.
- Monson, R.K., A.A. Turnipseed, J.P. Sparks, P.C. Harley, L.E. Scott-Denton, K. Sparks, T.E. Huxman. (2002). Carbon sequestration in a high-elevation, subalpine forest. *Global Change Biology* 8: 459–478.
- Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N. J., y Teran-Gomez, V. F. (2016). Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 135-144.
- Moreno, F., Bustamante, C., & González, J. (2005). *Gestión ambiental, Fundamentos para los sistemas de producción. Proyecto "Gestión Ambiental predial aplicado a sistemas de producción lecheros en dos predios de la sabana de Bogotá"*. Bogotá, Colombia: Grupo de investigación en gestión de empresas pecuarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Morrison, R., Balzter, H., Burden, A., Callaghan, N., Cumming, A., Dixon, S. ... Evans, C. (2016). Eddy covariance flux measurements of net ecosystem carbon dioxide exchange from a lowland peatland flux tower network in England and Wales. *Geophysical Research Abstracts*, 18, EGU2016-13293, 2016.
- Mottet, A., Ladet, S., Coqué, N., & Gibon, A. (2006). Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2-4), 296-310.

- Muftoz, J. (2014). Reflexiones Sobre Planeación universitaria institucional. *Revista Del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 2(7), 281. Recuperado de <http://200.10.243.34/ojs/index.php/rci/article/view/474/876>.
- Munger, J. W., Loescher, H. W., y Luo, H. (2010). Measurement, tower, and site design considerations. In *Eddy Covariance* (pp. 21-58). Netherlands: Springer.
- Munger, J. W., Loescher, H. W., y Luo, H. (2012). *Measurement, tower, and site design considerations*. In *Eddy Covariance* (pp. 21-58). Netherlands: Springer.
- Muñoz, F. L. (2011). *Integración de datos remotos en modelos de crecimiento y estimación de cosecha de cultivos herbáceos. Aplicación a escala local sobre trigo y maíz*. Córdoba, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Muñoz, L., Mazón, J. N. & Trujillo, J. (2011). ETL Process Modeling Conceptual for Data Warehouses: A Systematic Mapping Study. *IEEE Latin America Transactions*, (9)3, 358-363.
- Nakai, T., Iwata, H., Harazono, Y., & Ueyama, M. (2014). An inter-comparison between Gill and Campbell Sonic anemometers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195-196(1), 123-131.
- Nappo, C. (1991). Sporadic breakdowns of stability in the PBL over simple and complex terrain. *Boundary Layer Meteorology*, 54: 69–87.
- Naranjo, J. F., Cuartas, C. A., Murgueitio, E., Chará, J., y Barahona, R. (2012). Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 24(8).
- Nawar, S. & Mouazen, A.M. (2017). Predictive performance of mobile vis-near infrared spectroscopy for key soil properties at different geographical scales by using spiking and data mining techniques. *Catena* 151, 118–129. doi: 10.1016/j.catena.2016.12.014.
- Newell, R. (2009). *A U.S. Innovation Strategy for Climate Change Mitigation*. Advancing Opportunity, Prosperity and Growth. The Hamilton Project.
- Nguyen, P. M., Haghverdi, A., de Pue, J., Botula, Y., Le, K. V., Waegeman, W., & Cornelis, W. M. (2017). Comparison of statistical regression and data-mining techniques in estimating soil water retention of tropical delta soils. *Biosystems Engineering*, 153, 12-27. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.10.013.
- Nieto, M.I, Guzmán, M.L, & Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-

- 23142014000100014&lng=es&tling=es.
- Nikzad R. & Sedigh G. (2017). *Greenhouse gas emissions and green technologies in canada*, Environmental Development 2017: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2017.01.001>
- Nobel, P. S. (1983). *Biophysical Plant Physiology*. W. H., Freeman and Company, San Francisco.
- Noormets, A., J. Chen, T.R. Crow. (2007). Age-dependent changes in ecosystem carbon fluxes in managed forests in Northern Wisconsin, USA. *Ecosystems* 10: 187-203.
- Nordbo, A., Launiainen, S., Mammarella, I., Leppäranta, M., Huotari, J., Ojala, A., & Vesala, T. (2011). Long-term energy flux measurements and energy balance over a small boreal lake using eddy covariance technique. *Journal of Geophysical Research*, 116(D02119). doi: 10.1029/2010D014542.
- Norman, D., Worman, F., Siebert, J. y Modiakgotla, E. (1995). *The farming systems approach to development and appropriate technology generation*. Roma, Italia: FAO.
- Norris, S. J., Brooks, I. M., Hill, M. K., Brooks, B. J., Smith, M. H. & Sproson, D. A. J. (2012), Eddy covariance measurements of the sea spray aerosol flux over the open ocean. *Journal of Geophysical Research*, 117(D07210), 1-15. doi::10.1029/2011JD016549.
- Nosek, C. M., Scheckel, M. M., Waterbury, T., MacDonald, A., y Wozney, N. (2017). The Collaborative Improvement Model: An Interpretive Study of Revising a Curriculum. *Journal of Professional Nursing*, 33(1), 38-50.
- Novás, A. (2005). *El hambre en el mundo y los alimentos transgénicos* (Vol. 199). Madrid, España: Los libros de la Catarata.
- Nyantakyi-Frimpong, H., Mambulu, F. N., Kerr, R. B., Luginaah, I., & Lupafya, E. (2016). Agroecology and sustainable food systems: Participatory research to improve food security among HIV-affected households in northern Malawi. *Social Science & Medicine*, 164, 89-99.
- Oechel, W.C., Laskowski, C.A, Burba, G., Gioli, B., & Kalhori, A.A.M. (2014). Annual patterns and budget of CO₂ flux in an Arctic tussock tundra ecosystem. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 119, 323–339. doi: 10.1002/2013JG002431.
- Olah, G. A., Goepfert, A., & Prakash, G. K. S. (2009). Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Dimethyl Ether: From Greenhouse Gas to Renewable, Environmentally Carbon Neutral Fuels and Synthetic Hydrocarbons. *J. Org. Chem.* 2009, 74(2), 487–498. doi: 10.1021/jo801260f.
- Olbert, A.I., Ragnoli, E., Nash, S., & Hartnett, M. (2016): Turbulence modelling using

- dynamic parameterization with data assimilation. *Journal of Hydraulic Research*. doi: 10.1080/00221686.2016.1252799.
- Oliver T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., ... Bullock, J.M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends Ecol.*, 30, (11), 673–684.
- Ooba, M., T. Hirano, J.-I. Mogami, R. Hirata y R. Fujinuma (2006). "Comparisons of gap-filling methods for carbon flux dataset: A combination of a genetic algorithm and an artificial neural network." *Ecological Modelling* 198: 473-486.
- Ordoñez, A. y O. Masera. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- Ortiz, Y. (2016). *Medición y caracterización de la turbulencia atmosférica en Bogotá y su influencia en la dispersión de contaminantes*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Oesterheld, Martín+B2. (2008). Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas: Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecología austral*, 18(3), 337-346. Recuperado en 20 de octubre de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2008000300007&lng=es&tlng=es.
- Ortega, A., Ramírez, B., Caso, L., Ramírez, J., Espinoza, G., y Morett, J. (2010). Transformación de la estructura agraria en un municipio indígena productor de café en un contexto de crisis: Estudio de caso en Huehuetla, Puebla, México. *Región y sociedad*, 22(48), 145-178.
- Ospina, Ó., Grajales, H., & Manrique, C. (2011). Gestión del conocimiento: mayor producción y competitividad: Perspectivas para los sistemas de producción ovino-caprinos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 22, 95-113.
- Ouyang, W., Hao, F., Skidmore, A., Groen, T., Toxopeus, A. and Wang, T. (2012). Integration of multi-sensor data to assess grassland dynamics in a Yellow River sub-watershed. *Ecological Indicators*, 18, 163-170.
- Páez, L., Capriles, M., & Obispo, N. (1998). Funcionalidad tecnológica en fincas de doble propósito (leche-carne) ubicadas en el Valle de Aroa, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 16(2), 207-227.
- Páez, L., Tiburcio, L., Sayago, W., & Pacheco, R. (2003). Caracterización estructural y funcional de fincas ganaderas de doble propósito en el municipio páez del estado apure, venezuela. *Zootecnia Tropical*, 21(3), 301-320. Recuperado en 12 de octubre de

- 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692003000300006&lng=es&tlng=es.
- Pagliariacci, L. O., Delprino, M. R., Paganini, A. H., Barcelo, W., Peña, L. C., Bernardez, A., ... & Barbieri, M. O. (2015). *Impacto económico y ambiental de la sustitución del bromuro de metilo en la producción de tomate bajo cubierta. estudio de caso de una empresa frutihortícola del partido de Zarate, Buenos Aires*. In Congreso Argentino de Horticultura. 38. 2015 10 05-08, 5 a 8 de octubre de 2015. Bahía Blanca, Buenos Aires. AR..
- Paik, I. (2016). *Situation awareness based on big data analysis*. In *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 2016 International Conference on (Vol. 2, pp. 911-916). IEEE.
- Paleologos, M. F., Iermanó, M. J., Blandi, M. L., & Sarandón, S. J. (2017). Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes*, 22(2), 92-115.
- Paloviita, A. (2016). Vulnerability matrix of the food system: Operationalizing vulnerability and addressing food security. *Journal of Cleaner Production* (2016), doi: 10.1016/j.clepro.2016.07.018.
- Pan, Y., Xu, Z., & Wu, J. (2013). Spatial differences of the supply of multiple ecosystem services and the environmental and land use factors affecting them. *Ecosystem Services*, 5, 4-10. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.06.002>
- Pant, L. P. (2016). Paradox of mainstreaming agroecology for regional and rural food security in developing countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 111, 305-316.
- Papale, D. (2012). *Data Gap Filling*. In *Eddy Covariance* (pp. 159-172). Netherlands: Springer.
- Papale, D. and Valentini, R.(2005).: A new assessment of European forests carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization, *Global Change Biol.*, 9, 525–535, 2003. Papale, D. and Reichstein, M.: Centralized quality checks and gap filling used in the CarboeuropelP Database, AmeriFlux annual meeting 2005, 18–20 October 2005, Boulder Colorado USA.
- Papale, D., Reichstein, M., Aubinet, M., Canfora, E., Bernhofer, C., Kutsch, W., ... Yakir, D. (2006). Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation. *Biogeosciences*, 3, 571–583.
- Papacharalampou, C., McManus, M., Newnes, L. and Green, D. (2017). Catchment

- metabolism: Integrating natural capital in the asset management portfolio of the water sector. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp.1994-2005.
- Paredes, L. (2002). *Visión, Presente y Futuro de la Ganadería de la Leche en Venezuela*. In Memorias del XI Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Valera, Venezuela.
- Paredes, L. B. (2007). Sistemas de producción y economía de la producción. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* (15) (Supl. 1).
- Paredes, L. B. (2008). Desarrollo Sostenible de los Sistemas de Ganadería Doble Propósito.
- Parmentier, F. J. W., van Huissteden, J., van der Molen, M. K., Schaepman-Strub, G., Karsanaev, S. A., ... Dolman, A. J. (2011). Spatial and temporal dynamics in eddy covariance observations of methane fluxes at a tundra site in northeastern Siberia. *Journal of Geophysical Research*, 116(G03016). doi: 10.1029/2010JG001637.
- Parrado, C. A. (2015). *Flujos de gases efecto invernadero y lixiviación de nutrientes en agroecosistemas de rosas de corte en la Sabana de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pasi, G., Bordogna, G, & Jain, L.C (Eds.). (2013). *Quality Issues in the Management of Web Information. Intelligent Systems Reference Library. Volume 50*. Berlin, Alemania: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-37688-7_7.
- Passeri, N., Blasi, E., Franco, S., Martella, A., Pancino, B y Cicatiello, C. (2016). The environmental sustainability of national cropping systems: From assessment to policy impact evaluation. *Land Use Policy*, 57, 305–312.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, & S. Zipperer, W. C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.
- Peng, Y., Mi, K., Qing, F., & Xue, D. (2016). Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. *Journal of Arid Environments*, 124, 249-256.
- Penttilä, A., Slade, E. M., Simojoki, A., Riutta, T., Minkkinen, K., Roslin, T. (2013). Quantifying Beetle-Mediated Effects on Gas Fluxes from Dung Pats. *PLoS ONE* 8(8): e71454. doi:10.1371/journal.pone.0071454.
- Peña, M. E. (2012). *Análisis de la gestión empresarial en bovinos doble propósito y su relación con la eficiencia técnica*. Caso Municipios Catatumbo y Colón, Estado Zulia.

- Perdomo, J. A., & Hueth, D. L. (2010). *Funciones de producción y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica (No. 100873)*. Bogotá, Colombia: Universidad de Los Andes, Economics Department.
- Pérez, R. (2008). El lado oscuro de la ganadería. *Problemas del desarrollo*, 39(154), 217-227. Recuperado en 21 de octubre de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300011&lng=es&tlng=es.
- Pérez, L. (2014). Ben Producción integrada, el desafío del nuevo siglo: Cada vez más productores se alejan del modelo de intensificación y especialización dominante para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas que se complementan en una misma explotación. Los aportes de la agroecología, los sistemas silvopastoriles y la cría bovina intensiva. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 40(3), 226-231. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142014000300003&lng=es&tlng=es.
- Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786-5791.
- Petersen, B & Sanpp, S. (2015). What is sustainable intensification? Views from experts. *Land Use Policy* 46, 1–10.
- Petteri, S. 2002. Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana* 4(2): 51 – 58.
- Pingintha, N., Leclerc, M. Y., Beasley, J. P., Durden, D., Zhang, G., Senthong, C., y Rowland, D. L. (2010). Hysteresis response of daytime net ecosystem exchange during drought. *Biogeosciences*, 7: 1159–1170.
- Pinter, K., Barcza, Z., Balogh, J., y Nagy, Z. (2008). Continuous eddy covariance measurements of grass lands' carbon balance in Hungary. *Cereal Research Communications*, 36: 563–566.
- Pipino, L. L., Lee, Y. W., & Wang, R. Y. (2002). Data Quality Assessment. *Communications of the acm*, 45(4), 211-218.
- Plake, D., Stella, P., Moravek, A., Mayer, J.-C., Ammann, C., Held, A., Trebs, I. (2015). Comparison of ozone deposition measured with the dynamic chamber and the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology*, 206(1), 97-112.
- Platt, T. & Sathyendranath S. (1988). Oceanic Primary Production: Estimation by Remote Sensing at Local and Regional Scales. *Science*, 241(4873), 1613-1620.

- PNUD. (2009^a). *Cambio Climático: Memorias Diálogo Nacional Interministerial sobre cambio climático en el sector agropecuario*. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Adaptación).
- PNUD. (2009^b). *Cambio Climático: Memorias Diálogo Nacional Interministerial sobre cambio climático en el sector agropecuario*. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Mitigación).
- Polanco-Echeverry, D. N., y Rios-Osorio, L. A. (2015). Proposed methodology for research into the socioecological resilience of agroecosystems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(2).
- Pollard, A., Castillo, L., Danaila, L., & Glauser, M. (2017). *Whither Turbulence and Big Data in the 21st Century?*. doi: 10.1007/978-3-319-41217-7.
- Polis, G. A., Anderson, W. B., & Holt, R. D. (1997). Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annu. Rev. Ecol. Syst. Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 289-316.
- Prada, A., Chu, M., Guzman, J., & Moriasi, D. (2017). Evaluating the impacts of agricultural land management practices on water resources: A probabilistic hydrologic modeling approach. *Journal of Environmental Management*, 193, 512-523.
- Prajapati, P., & Santos, E. A. (2017). Measurements of methane emissions from a beef cattle feedlot using the Eddy Covariance technique. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 349-358. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.09.001.
- Prasad P, Thomas J, & Narayanan S. (2017). Global Warming Effects. *Plants and the Environment 2017*; 2, 786-794.
- Princiotta, F. (2009). Global Climate Change and the Mitigation Challenge. *Technical Paper. J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 59, 1194–1211.
- Rahman, S. (2016). Impacts of climate change, agroecology and socio-economic factors on agricultural land use diversity in Bangladesh (1948–2008). *Land Use Policy*, 50, 169-178.
- Ralph, M.A. (2016). *Agile Data Warehousing for the Enterprise A Guide for Solution Architects and Project Leaders*. USA: Morgan Kaufmann, Elsevier.
- Ramírez, C. D. (2015). Sistemas culturales y naturales vinculados para la producción más limpia. *Producción + Limpia*, 10(2), 7-8. Recuperado en octubre 21, 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200001&lng=en&tlng=es.

- Ramírez, L. (2002). Teoría de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Recuperado en: <https://webbrain.com/attach?brain=A6D07A03-C800-5CE7-B502-2C39B049C716&attach=3&type=1>.
- Ran, Y., Li, X., Sun, R., Kljun, N., Zhang, L., Wang, X., & Zhu, G. (2016). Spatial representativeness and uncertainty of eddy covariance carbón flux measurements for upscaling net ecosystem productivity to the grid scale. *Agricultural and Forest Meteorology*. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.05.008.
- Rane, S. & Metkewar, P. (2016). ISO Certified and Impact Analysis of Data Quality Framework. *GJRA - Global journal for research analysis*, 5(9), 243-244.
- Rebmann, C., Kolle, O., Heinesch, B., Queck, R., Ibrom, A., y Aubinet, M. (2012). *Data acquisition and flux calculations*. In Eddy Covariance (pp. 59-83). Netherlands: Springer.
- Reeder, J.D., G.E. Schuman, J.A. Morgan, D.R. Lecain. (2004). Response of organic and inorganic carbon and nitrogen to long-term grazing of the shortgrass steppe. *Environmental Management*. 33(4):485-495.
- Reichstein, M., Falge, E., Baldocchi, D., Papale, D., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Gilmanov, T., Granier, A., Grunwald, T., Havr " ankov ´ a, K., Ilvesniemi, H., ´ Janous, D., Knohl, A., Laurila, T., Lohila, A., Loustau, D., Matteucci, G., Meyers, T., Miglietta, F., Ourcival, J.-M., Pumpanen, J., Rambal, S., Rotenberg, E., Sanz, M., Tenhunen, J., Seufert, G., Vaccari, F., Vesala, T., Yakir, D., and Valentini, R.: (2005) On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm, *Global Change Biol.*, 11, 1424–1439
- Reichstein, M., Rey, A., Freibauer, A., Tenhunen, J. D., Valentini, R., Banza, J., Casals, P., Cheng, Y., Grünzweig, J. M., Irvine, J., Joffre, R., Law, B. E., Loustau, D., Miglietta, F., Oechel, W., Ourcival, J. M., Pereira, J. S., Peressotti, A., Ponti, F., Qi, Y., Rambal, S., Rayment, M., Romanya, J., Rossi, F., Tedeschi, V., Tirone, G., Xu, M. y Yakir, D. (2003). Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochemical*, 17: 15 (1-15).
- Reichstein, M., J.D. Tenhunen, O. Roupsard, J.-M. Ourcival, S. Rambal, S. Dore, R. Valentini. (2002). Ecosystem respiration in two Mediterranean evergreen Holm Oak forests: drought effects and decomposition dynamics. *Functional Ecology* 16: 27-39.
- Reid, R., Thornton, P., Mccrabb, G., Kruska, R., Atieno, F., & Jones, P. (2004). Abstract: Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics?

Environment, Development and Sustainability, 6, 91-109.

- Reth, S., Göckede, M., & Falge, E. (2004). CO₂ efflux from agricultural soils in Eastern Germany – comparison of a closed chamber system with eddy covariance measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 80, 105-120. doi 10.1007/s00704-004-0094-z.
- Reyes, J. S. (2013). *Evaluación de la calidad del suelo en un agroecosistemas orgánico de hortalizas y un agroecosistema convencional de papa en el municipio de Guasca, Cundinamarca* (Tesis de pregrado). Bogotá: Colombia: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana.
- Rezende, S. O., Oliveira, R. B. T., Félix, L. C., & Rocha, C. A. J. (1998). Visualization for Knowledge Discovery in Database. *Transactions on Information and Communications Technologies* 19, 81-95.
- Ribeiro da Rocha, H. (Diserante) (2011). *El uso de las torres de flujo para investigar la variabilidad climática y el rol del ecosistema*. II Seminario Internacional de Cambio Climático y Sumideros de Carbono. Santa Fe, Argentina. San Pablo, Brasil: Universidad de San Pablo (USP).
- Richardson, A.D., & Hollinger, D.Y. (2007). A method to estimate the additional uncertainty in gap-filled NEE resulting from long gaps in the CO₂ flux record. *Agricultural and Forest Meteorology*, 147, 199–208.
- Richardson, A.D., Hollinger, D.Y., Burba, G.G., Davis, K.J., Flanagan L.B., Katul, G.G., Munger, J.W., Ricciuto, D.M., Stoy, P.C., Suyker, A.E., Verma, S.B., Wofsy, m,i S.C. (2006). A multi-site analysis of random error in tower-based measurements of carbon and energy fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 136, 1–18.
- Richardson, A. D., Aubinet, M., Barr, A. G., Hollinger, D. Y., Ibrom, A., Lasslop, G., y Reichstein, M. (2012). *Uncertainty quantification*. In *Eddy Covariance* (pp. 173-209). Netherlands: Springer.
- Riederer, M., Serafimovich, A., & Foken, T. (2013). Net ecosystem CO₂ exchange measurements by the closed chamber method and the Eddy Covariance technique and their dependence on atmospheric conditions – a case study. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 6(5), 8783-8805.
- Rioja-Nieto, R., Moreno-Ruiz, J. A., & Gómez-Valdés, José. (2015). Efecto del manejo de un Área Natural Protegida en el paisaje del bosque de manglar en la Península de Yucatán. *Hidrobiológica*, 25(2), 203-211. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-

- 88972015000200203&lng=es&tng=es.
- Riquelme, J. C., Ruiz, R., & Gilbert, K. (2006). Minería de Datos: Conceptos y Tendencias. *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 10(29), 11-18.
- Rizzi, S., Abelló, A., Lechtenböcker, J., & Trujillo, J. (2006). Research in Data Warehouse Modeling and Design: Dead or Alive?. *DOLAP '06 Proceedings of the 9th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP*, 3-10. doi: 10.1145/1183512.1183515.
- Rodríguez Jeréz, J: J. (2005). *La inocuidad en la cadena alimentaria*. Recuperado en abril 18, 2017, de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2003/09/16/8309.php>.
- Rodríguez, D. M., Duque, A. A., & Carranza, J. A. (2008). *El enfoque agroecosistémico como herramienta de análisis patrimonial en paisajes culturales. El caso del paisaje cultural cafetero de Colombia*. En: I Seminario de Patrimonio Agroindustrial, Paisajes Culturales del Vino, el Pan, el Azúcar y el Café. 13 al 15 de Mayo 2008 - Mendoza, Argentina.
- Rodríguez León, C., & García Lorenzo, M. M. (2016). Adecuación a metodología de minería de datos para aplicar a problemas no supervisados tipo atributo-valor. *Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 8 (4), 42-52. Recuperado de: <http://rus.ucf.edu.cu/>.
- Rodríguez, Y., Morin, D., Paredes, L., Capriles, M., Vargas, T., Nuñez, R., & Hidalgo, V. (2001). *Diagnóstico estructural de fincas doble propósito en Santa Bárbara, Municipio Colón-Estado Zulia* (Structural Diagnosis of Dual Purpose Cattle Farms in Santa Bárbara, Colón Municipality, Zulia State).
- Roiger, R. J. (2017). *Data Mining A Tutorial-Based Primer Second Edition*. Minneapolis, Minnesota, U.S.A.: Chapman & Hall/CRC.
- Rojas, A. (2015). *Páramos Vivos, Hojas de Ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia*. Libro 3. Sistemas de Producción rural. Bogotá, Colombia: Panamericana formas e impresos S.A.
- Röös, E., Patel, M., Spångberg, J., Carlsson, G., & Rydhmer, L. (2016). Limiting livestock production to pasture and by-products in a search for sustainable diets. *Food Policy*, 58, 1-13.
- Ciencias de la Tierra y el Espacio, julio-diciembre, 2015, Vol.16, No.2, pp.189-200, ISSN 1729-3790
- 189
- Roque A., Carrasco M., Reyes M.,(2013) Características del perfil vertical del viento en la

capa superficial atmosférica sobre Cuba, atendiendo a la estratificación térmica de la atmósfera

- Rosnay, J. (1975). *Le macroscopie, vers une vision globale*. Paris, France: Seuil.
- Rotem, G., Gavish, Y., Shacham, B., Giladi, I., Bouskila, A., & Ziv, Y. (2015). Erratum to: Combined effects of climatic gradient and domestic livestock grazing on reptile community structure in a heterogeneous agroecosystem. *Oecologia*, 180(1), 243-244.
- Ruiter, H. D., Macdiarmid, J. I., Matthews, R. B., Kastner, T., Lynd, L. R., & Smith, P. (2017). Total global agricultural land footprint associated with UK food supply 1986–2011. *Global Environmental Change*, 43, 72-81.
- Ruiz, J. A. (2013). *Factores críticos de éxito y competencias profesionales necesarias para la implantación de una estrategia de gestión por procesos* (Tesis de pregrado). España: Universitat Oberta de Catalunya.
- Ruiz, R. y Oregui, L.M. (2001). El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* Vol. 16 (1): 29-61
- Rungtusanatham, M., Forza, C., Filippini, R., y Anderson, J. C. (1998). A replication study of a theory of quality management underlying the Deming management method: insights from an Italian context. *Journal of Operations Management*, 17(1), 77-95.
- Rungtusanatham, M., Ogden, J. A., y Wu, B. (2003). Advancing theory development in total quality management: A “Deming management method” perspective. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(8), 918-936.
- Running, S. W., Baldocchi, D. D., Turner, D. P., Gower, S. T., Bakwin, P. S., y Hibbard, K. A. (1999). A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing Environment*, 70: 108–127.
- Rzeźnik, W., Mielcarek, P., & Rzeźnik, I. (2016). Pilot Study of Greenhouse Gases and Ammonia Emissions from Naturally Ventilated Barns for Dairy Cows. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(6), 2553-2562.
- Rzeźnik, W. & Mielcarek, P. (2016). Greenhouse Gases and Ammonia Emission Factors from Livestock Buildings for Pigs and Dairy Cows. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 1813-1821.
- Sabatier, R., Doyen, L., & Tichit, M. (2010). Modelling trade-offs between livestock grazing and water conservation in a grassland agroecosystem. *Ecological Modelling*, 221(9), 1292-1300.
- Sadiq, S. (Ed.). (2013). *Handbook of Data Quality. Research and Practice*. Brisbane,

- Australia: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-36257-6.
- Sáez, F. (2009). *Complejidad y Tecnologías de la Información*. España: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Sáenz, J. E. (2012). *La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Safadi, M., Ma, J., Wickramasuriya, R., Daly, D., Perez, P., & Kokogiannakis, G. (2017). Mapping for the future: Business intelligence tool to map regional housing stock. *Procedia Engineering* 180, 1684-1694. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.331.
- Salas-Zapata, Walter A, Ríos-Osorio, Leonardo A, & Álvarez-Del Castillo, Javier. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología austral*, 22(1), 74-79. Recuperado en 11 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2012000100008&lng=es&tlng=es.
- Sánchez, M. (2012). Una aplicación de la teoría de sistemas al desarrollo de productos. *Revista Universidad Eafit*, 33(107), 45-68.
- Sánchez, M.L., B. De la Torre, I.A. Pérez, M.A. García. (2007). Net CO2 exchange in a rural area of the upper Spanish plateau. *Física de la Tierra* 19: 107-116.
- Sánchez, H., Guerrero, F., & Castellanos, M. A. (2012). *Ecología*. México: Ediciones Umbral.
- Santacoloma, L. E. (2015). Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*, 2(1), 55-64.
- Sarandón, S. J. (2014). *El agroecosistema: un ecosistema modificado*. En: Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editores: Sarandón, Santiago Javier y Flores, Claudia Cecilia. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- Scherr, S.J. & McNeely, J. A. (2008). Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of 'ecoagriculture' landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences*, 363, 477–494.
- Schimel, D. S. (1995). Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biol.* 1(1):77–91.
- Schmid HP (1994) Source Areas for Scalars and Scalar Fluxes. *Boundary-Layer Meteorol.*, 67, 293-318.

- Schmid, H. P. (2002). Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 159–183.
- Schmid, H. P. y Oke, T. R. (1988). Estimating the source area of a turbulent flux measurement over a patchy surface. Preprints, 8th Symposium on Turbulence and Diffusion, San Diego, CA., American Meteorological Society: 123–126.
- Schmid, H. P. y Oke, T. R. (1990). A model to estimate the source area contributing to turbulent exchange in the surface-layer over patchy terrain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 116: 965–988.
- Schmutz, M., Vogt, R., Feigenwinter, C., & Parlow, E. (2016), Ten years of eddy covariance measurements in Basel, Switzerland: Seasonal and interannual variabilities of urban CO₂ mole fraction and flux. *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 8649–8667, doi: 10.1002/2016JD025063.
- Schotanus, P., Nieuwstadt, F. T., & Debruin, H. A. (1983). Temperature Measurement with a Sonic Anemometer and its Application to Heat and Moisture Fluxes. *Boundary Layer Meteorology*, 26, 81-93.
- Schuepp PH, Leclerc MY, MacPherson JI, Desjardins RL (1990) Footprint prediction of scalar fluxes from analytical solutions of the diffusion equation. *Boundary-Layer Meteorol.*, 50, 355-373.
- Schuman, G.E., H.H. Janzen, J.E. Herrick. (2002). Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*. 116(3): 391-396
- Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., & Prasad, C. (2015). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. New Delhi, India: Springer India.
- Sellers, P., Hall, F., Margolis, H., Kelly, B., Baldocchi, D., den Hartog, G., Wickland, D. E. (1995). The Borea Ecosystem-Atmosphere Study (BOREAS): An Overview and Early Results from the 1994 Field Year. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1549-1577.
- Segura-Castruita, M.A, P. Sánchez-Guzmán, C.A. OrtizSolorio, M.C. Gutiérrez-Castorena. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana*. 23(1):21-28.
- Seo, S. & Mendelsohn, R. (2008). An Analysis of Crop Choice: Adapting to Climate Change in South American Farms. *Ecological Economics*, 67,109 – 116.
- Serrano, P. (2008). Intercambios de CO₂ entre atmósfera y ecosistemas kársticos: aplicabilidad de las técnicas comúnmente empleadas. Granada, España: Universidad de Granada.

- Serrano, A. M., & Manent, M. B. (2016). Zonification Geocological Of Landscape Urban. *Mercator*, 15(2), 117-136.
- Serrano-Ortiz, P., Kowalski, A. S. y Alados-Arboledas, L. 2006. La técnica eddy covariance como herramienta para la determinación de la capacidad de asimilación de CO₂ de un ecosistema. *Acta Granatense*, 4/5: 95-106.
- Serrano-Ortiz, P., Kowalski, A. S., Domingo, F., Rey, A., Pegoraro, E., Villagarcía, L. y Alados-Arboledas, L. 2007. Variations in daytime net carbon and water exchange in a montane shrubland ecosystem in southeast Spain. *Photosynthetica*, 45(1): 30-35.
- Serrano-Ortiz, P., Cuezva, S., Kowalski, A.S., y Sánchez-Moral, S. (2010). Cuantificación y procedencia de los intercambios de CO₂ en un ecosistema carbonatado mediante la técnica de eddy covariance y el análisis de los isótopos estables de carbono. *Ecosistemas*, 19(3), 41-51.
- Sevilla, E. (2006). *De la sociología rural a la agroecología* (Vol. 1). España: Icaria Editorial. Pp. 208.
- Silva, J. M., Gurgel, I. G., & Augusto, L. G. (2016). Saúde, ecologia de saberes e estudos de impactos ambientais de refinarias no Brasil. *Interface - Comunicação, Saúde, Educação*, 20(56), 111-122.
- Silva-Santamaría, L., y Ramírez-Hernández, O. (2017). Evaluación de agroecosistemas mediante indicadores de sostenibilidad en San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, Cuba. *Revista Luna Azul*, 44, 120-152.
- Soloway, A. D., Amiro, B. D., Dunn, A. L., & Wofsy, S. C. (2017). Carbon neutral or a sink? Uncertainty caused by gap-filling long-term flux measurements for an old-growth boreal black spruce forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 110-121. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.11.005.
- Sonter, L., Johnson, J., Nicholson, C., Richardson, L., Watson, K. & Ricketts, T. (2017). Multi-site interactions: Understanding the offsite impacts of land use change on the use and supply of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 23, 158-164.
- Sorokhtin, G., Chilingar, V. and Khilyuk. (2007). Global warming and Global Cooling: Evolution of Climate en Earth. *Developments in Earth and Environmental Sciences*. 5, 1-313.
- Soussana, J., Tichit, M., Lecomte, P., & , Dumont, B. (2014). Agroecology : integration with livestock. *FAO, Food and Agriculture Organization, International*, 266-249.
- Soussana, J., Tichit, M., Lecomte, P., & , Dumont, B. (2015). Agroecology : integration with livestock. *FAO, Food and Agriculture Organization, International*.

- Smith, S. R., Camp, J. P., y Legler, D. M. (1996). TOGA/COARE handbook of quality control procedures and methods for surface meteorology data. Center for Ocean Atmospheric Prediction Studies Tech, Rep. 96-3: 60pp.
- Sperry, J. S., Meinzer, F. C., y McCulloh, K. A. (2008). Safety and efficiency conflicts in hydraulic architecture: scaling from tissues to trees. *Plant, Cell and Environment*, 31: 632–645.
- Sproedt, A., Plehn, J., Schönsleben, P., & Herrmann, C. (2015). A simulation-based decision support for eco-efficiency improvements in production systems. *Journal of Cleaner Production*, 105, 389-405.
- Stallman, H. (2011). Ecosystem services in agriculture: Determining suitability for provision by collective management. *Ecological Economics*, 71, 131-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.016>.
- Stark, F., Fanchone, A., Semjen, I., Moulin, C., & Archimède, H. (2016). Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, 80, 9-20.
- Stark, F., Moulin, C. H., Cangiano, C., Vigne, M., Vayssières, J., & González-García, E. (2016). Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte I. Generalidades. Análisis del ciclo de vida (ACV) y de las redes ecológicas (ENA). *Pastos y Forrajes*, 39(1), 3-13.
- Starr, G., Staudhammer, C.L., Wiesner, S., Kunwor, S., Loescher, H.W., Baron, A.F., ... Boring, L. (2016). Carbon Dynamics of Pinus palustris Ecosystems Following Drought. *Forests* 2016, 7, 98. doi: 10.3390/f7050098.
- Stepanovich, P. L. (2004). Using system dynamics to illustrate Deming's system of profound knowledge. *Total Quality Management y Business Excellence*, 15(3), 379-389.
- Stull, R. B. (1988). An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 13: ISBN: 978-90-277-2769-5.
- Stupino, S., Iermanó, M. J., Gargoloff, N. A., & Bonicatto, M. M. (2014). *La biodiversidad en los agroecosistemas*. En: Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo, 5, 131-158.
- Su, H., Yang, Y., Xu, L., Chávez, J.L., Evett, S.R., Howell, T.A. ... Zhan, J. (2016). A Method to Correct Eddy Covariance Flux Underestimates under an Advective Environment for Arid or Semi-arid Regions. *Physics and Chemistry of the Earth*. doi:

- 10.1016/j.pce.2016.08.009.
- Sun, K., Tao, L., Miller, D.J., Zondlo, M.A., Shonkwiler, K.B., Nash, C., & Ham, J.M. (2015). Open-path eddy covariance measurements of ammonia fluxes from a beef cattle feedlot. *Agricultural and Forest Meteorology* 2013(1), 193-202.
- Sustainable Sites Initiative (2007). The Sustainable Sites Initiative – Standards and Guidelines: Preliminary Report. Recuperado Marzo 24, 2017, de http://www.sustainable-sites.org/sustainableSitesInitiative_PreliminaryReport_110107.pdf.
- Sutton-Grier, A. E., Moore, A. K., Wiley, P. C., & Edwards, P. E. (2014). Incorporating ecosystem services into the implementation of existing U.S. natural resource management regulations: Operationalizing carbon sequestration and storage. *Marine Policy*, 43, 246-253.
- Suyker, A.E. y S.B. Verma. (2001). Year-round observations of the net ecosystem exchange of carbon dioxide in a native tallgrass prairie. *Global Change Biology* 7: 179-289.
- Swanson, N. & White H. (1995). A Model-Selection Approach to Assessing the Information in the Term Structure Using Linear Models and Artificial Neural Networks. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13, (3).
- Swanson, N. & White, H. (1997). A model Selection Approach to Real-Time Macroeconomic Forecasting Using Linear Models and Artificial Neural Networks. *The Review of Economics and Statistics*, No. 79.
- Szulejko J, Kumar P, Deep A, Kim K. Global warming projections to 2100 using simple CO2 greenhouse gas modeling and comments on CO2 climate sensitivity factor. *Atmospheric Pollution Research* 2017; 8, 136-140.
- Tapia, J. y Humanes, M. (2016). Estimación de Kc y necesidades hídricas de melocotonero (spring snow) bajo riego por goteo mediante técnicas de teledetección y covarianza de torbellinos. *Redarex plus Colección Científicos para el Regadío*.
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J., & Richard, G. (2014). The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 10, 35-48. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.004>
- Tanner, C.B. & Pelton, W.L. (1960). Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance of Penman. *J. Geophysical Res.*, 65(10), 3391-3413.
- Tardella, F., Piermareri, K., Malatesta, L., & Catorci, A. (2016). Environmental gradients and grassland trait variation: Insight into the effects of climate change. *Acta Oecologica*,

- 76, 47-60. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2016.08.002>.
- Tappeiner, U. y A. Cernusca. (1996). Microclimate and fluxes of water vapour, sensible heat and carbon dioxide in structurally differing subalpine plant communities in the Central Caucasus. *Plant, Cell and Environment* 19: 403-417
- Taylor, G. I. (1938). The spectrum of turbulence. *Proceedings of the Royal Society of London*, A164: 476–490.
- Teixeira, J. W., Annibal, L. P., Felipe, J. C., Ciferri, R. R., & Ciferri, C. D. d.A. (2015). A similarity-based data warehousing environment for medical images. *Computers in Biology and Medicine*, 66, 190–208. doi: 10.1016/j.combiomed.2015.08.019.
- Teresa, B. P. (2011). *XXXIII Reunión Biental de la Real Sociedad Española de Física: ; 21er Encuentro Ibérico para la Enseñanza de la Física: Santander, 19-23 de septiembre de 2011: Resúmenes de las comunicaciones*. Santander: PUbliCan, Ediciones de la Universidad de Cantabria.
- Tian, F., Yang, P., Hu, H., & Liu, H. (2017). Energy balance and canopy conductance for a cotton field under film mulched drip irrigation in an arid región of northwestern China. *Agricultural Water Management*, 179(1), 110-121.
- Tittonell, P. (2014). Ecological Intensification of Agriculture — Sustainable. *Nature, Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8,53–61.
- Theodorou, V., Jovanovic, P., Abelló, A., & Naku□i, E. (2016). Data generator for evaluating ETL process quality. *Information Systems*. doi: 10.1016/j.is.2016.04.005.
- Thornton, P.; Van de Steeg, J.; Notenbaert, A., & Herreo, M. (2009). The Impacts of Climate Change on Livestock and Livestock Systems in Developing Countries: A Review of What we Know and What we Need to Know. *Agricultural Systems* 101, 113–127.
- Tkacz, G. & Hu, S. (1999). *Forecasting GDP Growth Using Artificial Neural Networks*, Canadá: Working Paper 99-3, Bank of Canada.
- Tófano, R.P., Mattos, G., & Filimonau, V. (2017). The carbón footprint appraisal of local visitor travel in Brazil: A case of the Rio de Janeiro-São Paulo itinerary. *Journal of Cleaner Production*, 141(1), 56-266.
- Tong, X., Li, J., Yu, Q., y Lin, Z. (2014). Biophysical controls on light response of net CO₂ exchange in a winter wheat field in the North China Plain. *PloS one*, 9(2), e89469.
- Tuebiello, F. & Fischer, G. (2007). Reducing Climate Change Impacts on Agriculture: Global and Regional Effects of Mitigation, 2000–2080. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 1030–1056.
- Turón Patrimonio (2011). *Unidades de Paisaje*. Recuperado en marzo 20, 2017, de

- <http://turonpatrimonio.wordpress.com/analisis-de-paisaje/unidades-de-paisaje-2/>.
- Tyree, M. T. y Sperry, J. S. (1988). Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? Answers from a model. *Plant Physiology*, 119: 345–360.
- Ueyama, M., Iwata, H., & Harazono, Y. (2014). Autumn warming reduces the CO₂ sink of a black spruce forest in interior Alaska based on a nine-year eddy covariance measurement. *Global Change Biology* 20(1), 1161-1173. doi:10.1111/gcb.12434.
- United Nations Environment Programme (2012). *Avoiding future famines: Strengthening the ecological foundation of food security through sustainable food systems*. Recuperado de http://openaccess.city.ac.uk/2576/1/UNEP_Food_Security_Report_Combine_Oct_2012_LoRes.pdf.
- UNESA, (2005). Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.
- Ureña, J., Capriles, M., & Flores, B. (1997a). Análisis del sistema de producción de leche y carne con vacunos en El Vigía, Estado Mérida. Zona Sur del Lago de Maracaibo. I. Análisis estructural. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5(Suplemento 1), 628-630.
- Ureña, J., Capriles, M., & Flores, B. (1997b). Análisis del sistema de producción de leche y carne con vacunos en el Vigía, estado Mérida, zona Sur del Lago de Maracaibo. II Análisis funcional. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5, 631-634.
- Usón, A., Bribián, I., Gracia, A., Valero-Delgado, A., & Scarpellini, S. (2006). El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial. España: Fundación Confemetal.
- Uvidía, H., Ramirez, J., Vargas, J., Leonard, I., & Sucoshañay, J. (2015). Relación del clima con el rendimiento y la calidad del Pennisetum purpureum en la Amazonia Ecuatoriana. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(6), 1-10.
- Válcarcel, V. (2004). Data mining y el descubrimiento del conocimiento. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 7(2), 83-86.
- Valero, S., Salvador, A., & García, M. (2010). *Minería de datos: predicción de la deserción escolar mediante el algoritmo de árboles de decisión y el algoritmo de los k vecinos*

- más cercanos. Recuperado de <http://www.utim.edu.mx/~svalero/docs/e1.pdf>.
- Van der Laan, S., Manohar, S., Vermeulen, A., Bosveld, F., Meijer, H., Manning, A. ... Van der Laan-Luijkx, I. (2016). Inferring ^{222}Rn soil fluxes from ambient ^{222}Rn activity and eddy covariance measurements of CO_2 . *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 5523-5533.
- Van Minnen, J., Strengers, B., Eickhout, B., Swart, R. & Leemans, R. (2008). Quantifying the Effectiveness of Climate Change Mitigation Through Forest Plantations and Carbon Sequestration with an Integrated Land-use Model. *Carbon Balance and Management*, 3, 3.
- Van Soest, P. (1993). *Evaluación de forrajes y calidad de los alimentos para rumiantes*. Recuperado de <http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse2/minisite/pdf/Calidad%20de%20Alimentos%20para%20Rumiantes/articulo%20Van%20Soest.pdf>.
- Vargas, S. (2008). *Rediseño, manejo y evaluación de un agroecosistema de pastizal con enfoque integrado para la producción de leche bovina* (Tesis de Doctorado en Ciencias Veterinarias). Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Vásquez, P. & Vignolles, M. (2015). Establecimiento agroproductivo ecológico vs. Agricultura convencional: partido de tandil, provincia de Buenos Aires. *Sociedade & Natureza*, 27(2), 267-280.
- Vela, J. F., Navas, A., Torres, M. A., Triana, J. F., & Calvache, I. D. (2010). Gerencia sistémica agropecuaria: gestión de la producción—parte I. *Revista Ciencia Animal*, 3, 81-96.
- Velasco, E. & Roth, M. (2010). Cities as Net Sources of CO_2 : Review of Atmospheric CO_2 Exchange in Urban Environments Measured by Eddy Covariance Technique. *Geography Compass* 4/9,1238–1259. doi: 10.1111/j.1749-8198.2010.00384.x.
- Venegas, D. (2010). Ecosistemas terrestres, atmósfera y cambio climático. *Cicese*, 1-3.
- Vera, J. C., (2017). *TFG-Educational data mining and learning analytics*. España: Universitat Oberta de Catalunya.
- Verlinden, M.S., Broeckx, L.S., Zona, D., Berhongaray, G., De Groote, T., Camino Serrano, M., Janssens, I.A., & Ceulemans, R. (2013). Net ecosystem production and carbón balance of an SGC poplar plantation during its firs rotation. *Biomass and Bioenergy* 56(1), 412-422.
- Verma, A. B., Baldocchi, D. D., Anderson, D. E., Matt, D. R. y Clement, R. J. (1986). DDy

- fluxes of CO₂, water vapor, and sensible heat over a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorology*, 36: 71-91.
- Verma, S. B. (1990). Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. *Remote Sensing Reviews*, 5(1): 99-105.
- Vicca, S., Serrano-Ortiz, P., De Boeck, H. J., Lemmens, C. M. H. M., Nijs, I., Ceulemans, R., Kowalski, A. S. y Janssens, I. A. (2007). Effects of climate warming and declining species richness in grassland model ecosystems: acclimation of CO₂ fluxes. *Biogeosciences*, 4: 27-36.
- Vickers, D., & Mahrt, L. (1997). Quality Control and Flux Sampling Problems for Tower and Aircraft Data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 14(3), 512-526.
- Victoria, F., I. Costa, T. Castro, R. García, M.C. Romojaro, M.L. Mesa. 2010. Carbon labelling of farms and agricultural products. The initiative murcian agriculture as a CO₂ sink, In: *Iniciativas para una economía baja en carbono*. Jiménez Godoy, S.A., Murcia, pp. 37-62.
- Victoria, F., Costa, I., Castro, T., Garcia, R., Romojano, M.C. y Mesa del Castillo, M.L., (2011). *La iniciativa de ecorresponsabilidad de la agricultura murciana como sumidero de CO₂ Marca LessCO₂*. Unión Europea: Eurobarómetro.
- Villegas, E., Cifuentes G., Contreras G., y Fernández A. (2015). Ordenamiento territorial como instrumento, para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. *Investigación Científica y Tecnológica*. 1-28.
- Virapongse, A., Brooks, S., Metcalf, E. C., Zedalis, M., Gosz, J., Kliskey, A., & Alessa, L. (2016). A social-ecological systems approach for environmental management. *Journal Of Environmental Management*, 83.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science, New Series*, 277(5325), 494-499.
- Von Bernard, H., Vilarino, V., & Piñeiro, G. (2007). Emisión teórica de metano en tres sistemas de invernada para engorda de ganado en Argentina. *Ciencia e investigación agraria*, 34(2), 121-129.
- Vörösmarty, C.J., Federer, C.A., & Schloss, A.L. (1998). Potencial evaporation functions compare don US watersheds: Possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling. *Journal of Hydrology*, 207, 147-169.
- Wadsworth, J. (1997). *Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales*. Roma, Italia. FAO Animal Production and Health Paper.

- Waldo, S., Chi, J., Pressley, S.N., O’Keeffe, P., Pan, W.L., Brooks, E.S., ... Lamb, B.K. (2016). Assessing carbon dynamics at high and low rainfall agricultural sites in the inland Pacific Northwest US using the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology* 218-219, 25-36. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.11.018.
- Wallace, K. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3-4), pp.235-246.
- Walton, A. & Meidinger, D. (2006). Capturing expert knowledge for ecosystem mapping using Bayesian networks. *Canadian Journal of Forestry Research*, 36, 3087–3103.
- Wan, N., Chen, J., Jiang, J., & Li, B. (2017). A conceptual framework for ecosystem management based on tradeoff analysis. *Ecological Indicators*, 75, 352-361. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.032>.
- Wang, R. Y. & Strong, D. M. (1996). Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5-33. doi: 10.1080/07421222.1996.11518099.
- Wang, T., Gao, H., & Qiu, J. (2016). A Combined Adaptive Neural Network and Nonlinear Model Predictive Control for Multirate Networked Industrial Process Control. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 27(2), 416-425. doi: 10.1109/TNNLS.2015.2411671.
- Wang, T., Gao, H., & Qiu, J. (2016). A Combined Fault-Tolerant and Predictive Control for Network-Based Industrial Processes. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 63(4), 2529-2536.
- Wang, W., Xu, J., Gao, Y., Bogoev, I., Cui, J., Deng, L., ... Lee, X. (2016). Performance evaluation of an integrated open-path eddy covariance system in a cold desert environment. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. doi:10.1175/JTECH-D-15-0149.1, in press.
- Ward, P., Micin, S., & Fillery, I. (2012). Application of Eddy Covariance to determine ecosystem-scale carbon balance and evapotranspiration in an agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 178-188.
- Warmling, D., y Moretti-Pires, R. O. (2016). *Sentidos sobre agroecologia na produção, distribuição e consumo de alimentos agroecológicos em Florianópolis, SC, Brasil*. Interface-Comunicação, Saúde, Educação, (ahead), 0-0.
- Watanabe, M. D. & Ortega, E. (2011). Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: Valuation of water, carbon and nitrogen processes. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 594-604.

- Webb, E.K., Pearman, G.I., Leuning, R. (1980): Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 106, 85–100.
- Wehr, R., Munger J.W., Nelson, D.D., McManus J.B., Zahniser, M.S., Wofsy, S.C., & Saleska, S.R. (2013). Long-term eddy covariance measurements of the isotopic composition of the ecosystem–atmosphere exchange of CO₂ in a temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 181 (1) 69–84.
- Weiler, V. (2013). *Carbon footprint (LCA) of milk production considering multifunctionality in dairy systems: A study on smallholder dairy production in Kaptumo, Kenya*. Paises Bajos: Doctoral dissertation, Thesis: Wageningen University.
- WenJun, Z. & GuangHua, L. (2017). Situation and development of worldwide agri-environment: Agricultural land uses, fertilizers consumption and carbon dioxide equivalent emissions. *Environmental Skeptics And Critics, Vol 6, Iss 1, Pp 1-8 (2017)*, (1), 1.
- Westbury, D., Mortimer, S., Brook, A., Harris, S., Kessock-Philip, R., Edwards, A., & Peach, W. (2011). Plant and invertebrate resources for farmland birds in pastoral landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 266-274.
- Webster, K.L., Wilson, S.A., Hazlett, P.W., Fleming, R.L., & Morris, D.M. (2016). Soil CO₂ efflux and net ecosystem Exchange following biomass harvesting: Impacts of harvest intensity, residue retention and vegetation control. *Forest Ecology and Management*, 360(1), 181-194.
- Wever, L. A., Flanagan, L. B. y Carlson, P. J. 2002. Seasonal and interannual variation in evapotranspiration, energy balance and surface conductance in a northern temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112: 31-49.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503-515.
- Wezel, A., Brives, H., Casagrande, M., Clément, C., Dufour, A., & Vandenbroucke, P. (2015). Agroecology territories: Places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(2), 132-
- Wezel, A., Fleury, P., David, C., & Mundler, P. (2014). *The food system approach in agroecology supported by natural and social sciences. Agroecology, ecosystems and sustainability*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor and Francis Group, 181-199.
- White P.R., S. Murray, M. Rohweder. (2000). Pilot Analysis of Global Ecosystems-

- Grassland ecosystems. World Research Institute. Washington, D.C.
- Wilbanks, T. J. & Kates, R.W. (1999). *Global Change in Local Places: How Scale Matters*. *Climatic Change* (1999) 43: 601. doi:10.1023/A:1005418924748.
- Wilcock, R., Elliott, S., Hudson, N., Parkyn, S., & Quinn, J. (2008). Climate Change Mitigation for Agriculture: Water Quality Benefits and Costs. *Water Science & Technology—WST*, 58.11.
- Wilczak, J.M., Oncley, S.P., & Page, S.A. 2001. Sonic Anemometer Tilt Correction Algorithms. *Boundary Layer Meteorology* 99, 127-150.
- Willers, C. D., Maranduba, H. L., de Almeida Neto, J. A., & Rodrigues, L. B. (2017). Environmental impact assessment of a semi-intensive beef cattle production in Brazil's northeast. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), 516-524.
- Williams, G. A., Helmuth, B., Russell, B. D., Dong, Y., Thiyagarajan, V., & Seuront, L. (2016). Meeting the climate change challenge: Pressing issues in southern China and SE Asian coastal ecosystems. *Regional Studies in Marine Science*, 8, 373-381.
- Wilson, K.B. and D.D. Baldocchi. (2001). Comparing independent estimates of carbon dioxide exchange over 5 years at a deciduous forest in the southeastern United States. *Journal of Geophysical Research* 106 (D24): 34167–34178.
- Wilson, A., Goldstein, A., Falge, E., Aubinet, M., Baldocchi, D. D., Berbigier, P., Bernhofer, C., Ceulemans, R., Dolman, H., Field, C., Grelle, A., Ibrom, A., Law, B. E., Kowalski, A. S., Meyers, T., Moncrieff, J., Monson, R., Oechel, W., Tenhunen, J., Valentini, R. y Verma, S. B. 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 223-243.
- Witten, F. & Eibe, M. (2011). *Hall Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Wofsy, S. C., Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Bakwin, P. S., Daube, B. C., Bassow, S. L., y Bazzaz, F. A. (1993). Net exchange of CO₂ in a mid-latitude forest. *Science*, 260: 1314–1317.
- Wohlfahrt, G., Klumpp, K., & Soussana, J. (2011). *Eddy Covariance Measurements over Grasslands*. *Eddy Covariance*, 333-344.
- Xiao, J., Ollinger, S.V., Frohling, S., Hurtt, G.C., Hollinger, D. Y., Davis, K.J. ... Suyker, A.E. (2014). Data-driven diagnostics of terrestrial carbon dynamics over North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, 197(1), 142-157.
- Xu, K., Metzger, S., & Desai, A. (2017). Upscaling tower-observed turbulent exchange at fine spatio-temporal resolution using environmental response functions. *Agricultural and*

- Forest Metereology*, 232(1), 10-22.
- Yang, F., Zhang, Q., Wang, R., y Zhou, J. (2014). Evapotranspiration measurement and crop coefficient estimation over a spring wheat farmland ecosystem in the Loess Plateau. *PloS one*, 9(6), e100031.
- Yang, M., Prytherch, J., Kozlova, E., Yelland, M.J., Mony, D.P., Bell, T.G. (2016). Comparison of two closed-path cavity based spectrometers for measuring air-water CO₂ and CH₄ fluxes by by eddy covariance. *Atmospheric Measurement Techniques*. doi: 10.5194/amt-2016-215.
- Yaranga R., Custodio M., (2013) Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos Storage of carbon in natural grasses high andean Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú. *Scientia Agropecuaria* 4(2013) 313 - 319
- Yu, X., Song, C., Sun, L., Wang, X., Shi, F., Cui, Q., & Tan, W. (2017). Growing season methane emissions from a permafrost peatland of northeast China: Observations using open-path *Eddy Covariance* method. *Atmospheric Environment*, 153, 135-149.
- Zanotelli, D., Montagnani, L., Manca, G., Scandellari, F. & Tagliavini, M. (2014). Net ecosystem carbo balance of an apple orchard. *Europ. J. Agronomy* 63(1), 97-104.
- Zawadzka, J., Corstanje, R., Fookes, J., Nichols, J. and Harris, J. (2017). Operationalizing the ecosystems approach: Assessing the environmental impact of major infrastructure development. *Ecological Indicators*, 78, pp.75-84.
- Zermeño-González, A., Villatoro-Moreno, S., Cortés-Bracho, J. J., Cadena-Zapata, M., Catalán-Valencia, E. A., García-Delgado, M. A., & Munguía-López, J. P. (2012). Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia*, 46, 579-591.
- Zermeño-González A., Ríos-Estudillo J., Gil Marin J., Cadena-Zapata M., Villarreal-Quintanilla J. (2011) Dinámica del flujo de bióxido de carbono y de energía sobre un pastizal natural del norte de México *Bioagro* vol.23 no.1. Venezuela.
- Zermeño-González A., Villatoro-Moteno¹ S., Cortés-Bracho¹ J., Cadena-Zapata M., Catalán-Valencia M., García-Delgado A., Munguía-López J. (2012) Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia*. *Agrociencia* vol.46 no.6 México.
- Zhang, S. & Wu, X. (2011). Fundamentals of association rules in data mining and knowledge Discovery. *Data Mining Knowl Discov* 2011, 1, 97-116. doi: 10.1002/widm.10.
- Zhao, L., Li, J., Xu, S., Zhou, H., Li, Y., Gu, S., y Zhao, X. (2010). Seasonal variations in

- carbon dioxide exchange in an alpine wetland meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Biogeosciences*, 7(4): 1207–1221.
- Zhao, L., Li, Y., Xu, S., Zhou, H., Gu, S., Yu, G., y Zhao, X. (2006). Diurnal, seasonal and annual variation in net ecosystem CO₂ exchange of an alpine shrubland on Qinghai-Tibetan plateau. *Global Change Biology*, 12: 1940–1953.
- Zhongyu, W., Wang, T., & Huayong, Z. (2016). Assessment on the Ecosystem Service Functions of Nansi Lake in China. *International Journal Of Engineering Research And Applications*, Vol 6, Iss 3, Pp 10-18 (2016), (3), 10.
- Zhou, L., He, H., Sun, X., Zhang, L., Yu, G., Ren, X., Zhao, F. (2013). Modeling winter wheat phenology and carbon dioxide fluxes at the ecosystem scale based on digital photography and Eddy Covariance data. *Ecological Informatics*, 18, 69-78.
- Zhu, Z., Zhao, F., Voss, L., Xu, L., Sun, X., Yu, G. & Meixner, F.X. (2015). The effects of different calibration and frequency response correction methods on eddy covariance ozone flux measured with a dry chemiluminescence analyzer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213(1), 114-125.
- Zona, D., Gioli, B., Commane, R., Lindaas, J., Wofsy, S.C., Miller, C.E., & Oechel, W.C. (2015). Cold season emissions dominate the Arctic tundra methane budget. *Current Issue*, 113(1), 40-45. doi: 10.1073/pnas.1516017113.
- Zúniga, C. (2011). *Texto básico de economía agrícola: Su Importancia para el Desarrollo Local Sostenible. Brought to you by the University of Minnesota Department of Applied Economics and the University of Minnesota Libraries with cooperation from the Agricultural and Applied Economics Association.* ISBN, 978-99964.