

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL



**Evaluación del efecto del tiempo de permanencia y tamaño de grupo en la medición de emisiones en cámara dinámica de gases de efecto invernadero procedentes de cabras lecheras**

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL  
MEDIO NATURAL

ALUMNO:

*Jesús Pérez Plumed*

DIRECTOR ACADÉMICO:

*Fernando Estellés Barber*

VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2016



**Título: “Evaluación del efecto del tiempo de permanencia y tamaño de grupo en la medición de emisiones en cámara dinámica de gases de efecto invernadero procedentes de cabras lecheras”**

## **Resumen**

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la actividad ganadera es uno de los retos a los que se enfrenta esta actividad en la actualidad. Para poder llevar a cabo una reducción de las emisiones, es necesario disponer de sistemas y técnicas de medida precisos, prácticos y económicos y que, además, resulten respetuosos con el bienestar de los animales. En este sentido, en este trabajo se plantea una estrategia para reducir el coste de las mediciones de emisiones de gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) procedentes de cabras lecheras siguiendo la técnica de la cámara dinámica. Para ello se ha desarrollado un experimento en el que se han medido emisiones en cabras lecheras con dos enfoques: por un lado se ha evaluado la posibilidad de reducir el tiempo que pasan los animales en las cámaras de medición, que tradicionalmente es de 24h, comparando los resultados de estas mediciones con experimentos cortos de 2h de duración; por otro lado, se ha estudiado el efecto de agrupar a los animales para las mediciones, evitando así el alojamiento individual tradicionalmente utilizado y que puede causar problemas de estrés en especies gregarias como el caprino. Los resultados obtenidos mostraron que no se observa un efecto del tiempo (mediciones cortas vs largas) sobre los animales alojados de forma individual, y sí sobre los alojados en grupo. También mostró que se debe investigar con detalle el efecto animal, ya que el comportamiento de los animales podría estar afectando a las mediciones.

**Palabras clave:** Cámara dinámica, cabras, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, mediciones, grupo, individual, GEI

## **Abstract**

Reducing greenhouse gasses emissions from cattle is one of the challenges that this activity actually must confront. In order to reduce emissions, it is necessary to have accurate measure systems and techniques, practical and economical and responsible with environment too. In order to that, this paper shows a strategy to reduce

measurements costs of greenhouse gasses emissions (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) from dairy goats, using a dynamic chamber. For that, an experiment has been developed where dairy goats emissions has been measured in 2 approaches: first, reducing time that animals are in chamber, traditionally 24 hours, comparing this results with short time measurements of 2 hours; on the other hand, measurement effect with a group of animals has been studied, avoiding the traditional individual accommodation, that could cause stress problems in gregarious species as goat. Results showed that there is no time effect observed (long vs. short measurements) over the animals that were studied individually, unlike group animals. In addition, experiment showed that animal effect must be investigated carefully, because animal behaviour could be affecting to emissions.

**Key words:** Dynamic chamber, goat, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, measurements, group, individual, GHG

**Autor:** D. Jesús Pérez Plumed

**Localidad y fecha:** Valencia, septiembre de 2016

**Tutor académico:** Prof. D. Fernando Estellés Barber

## **Agradecimientos**

A Fernando, por su inmensísima paciencia y dedicación.

“O fortunatos nimium, sua si bona norint agricolas”

*(Virgilio)*

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. CONTEXTO GENERAL</b> .....	1
<b>1.2. GASES DE EFECTO INVERNADERO</b> .....	2
<b>1.3. MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI</b> .....	5
1.3.1. Métodos para determinar las emisiones.....	6
1.3.2. Determinación de la concentración de los gases.....	8
1.3.3. Mediciones en cámara dinámica.....	9
<b>1.4. COMPORTAMIENTO EN PEQUEÑOS RUMIANTES</b> .....	10
1.4.1. Temperamento.....	10
1.4.2. Hábitos alimenticios.....	11
1.4.3. Ciclo de rumia.....	11
1.4.4. Hábitos de descanso.....	12
<b>1.5. OBJETIVOS</b> .....	12
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	13
<b>2.1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO GENERAL</b> .....	13
<b>2.2. CÁMARA DINÁMICA</b> .....	14
<b>2.3. MEDICIONES DE CH<sub>4</sub> Y CO<sub>2</sub></b> .....	17
<b>2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	18
<b>3. RESULTADOS</b> .....	20
<b>3.1. EMISIONES SEGÚN EL TIEMPO DE ESTANCIA EN LA CÁMARA</b> .....	20
3.1.1. Análisis individual.....	20
3.1.2. Análisis en grupo.....	21
<b>3.2. EMISIONES SEGÚN EL MODO DE ALOJAMIENTO</b> .....	23
<b>4. CONCLUSIÓN</b> .....	25
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	26

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación general del balance de emisiones.....	17
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación de emisión de metano por ingesta de materia seca.....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema básico del efecto invernadero.....	2
<b>Figura 2.</b> Contribución de gases de efecto invernadero.....	3
<b>Figura 3.</b> Esquema simple de una cámara estática.....	7
<b>Figura 4.</b> Esquema simple de una cámara dinámica.....	7
<b>Figura 5.</b> Esquema del experimento.....	13
<b>Figura 6.</b> Esquema general y proceso de medición en la cámara dinámica.....	14
<b>Figura 7.</b> Vista frontal de la cámara dinámica.....	15
<b>Figura 8.</b> Detalle de los paneles de la cámara.....	15
<b>Figura 9.</b> Paneles rejilla del suelo y valla interior.....	15
<b>Figura 10.</b> Comedero, tubo de extracción y entrada de aire.....	16
<b>Figura 11.</b> Esquema de medición de caudal y medidas.....	16
<b>Figura 12.</b> Medidor de gas fotoacústico.....	17
<b>Figura 13.</b> Esquema de montaje del sistema de medición de la cámara.....	18

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de los diferentes gases GEI .....	3
<b>Tabla 2.</b> Resultados estadísticos del análisis del CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> para medidas individuales.....	20
<b>Tabla 3.</b> Resultados estadísticos del análisis del CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> para medidas en grupo.....	21
<b>Tabla 4.</b> Resultados estadísticos del análisis de CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> según el modo de alojamiento .....	23

## **1. Introducción**

### ***1.1. Contexto general***

Las actividades humanas causan un evidente efecto negativo sobre el medio ambiente. Esto ha motivado una preocupación y sensibilización social que finalmente se está traduciendo en la implantación de determinadas exigencias legales para la protección del mismo. La ganadería, como actividad productiva, no es ajena a esa situación de problemática ambiental de las sociedades industrializadas y de elevado desarrollo tecnológico, como es el caso de la española, siendo una de las fuentes generadoras de impacto sobre el medio ambiente. La incorporación de medidas que puedan suponer una mejora, desde la perspectiva medioambiental o de factores relacionados con ellos se ha convertido en una necesidad en constante crecimiento para el sector ganadero, y en consecuencia para el conjunto del sector agrario. Ahora bien, previamente a plantear estrategias de mejora, lo primero que hay que tener es un buen conocimiento de la situación existente en ese entorno productivo, en todo lo referente a los aspectos citados.

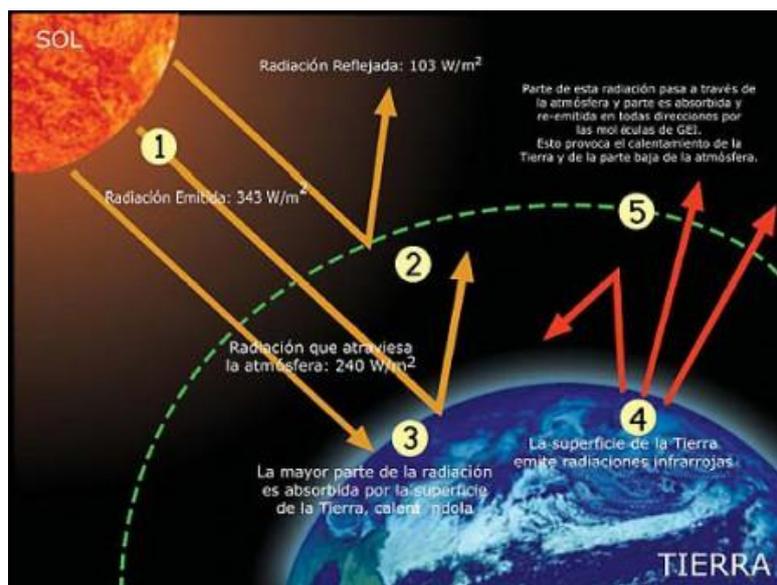
La producción animal ha sido ejercida por el ser humano desde la antigüedad, pero en los últimos años, el sector ganadero se ha intensificado de forma muy evidente, debido a la necesidad de aumentar la producción a un costo contenido. La producción de rumiantes es fundamental para la obtención de alimentos (carne y leche) en la mayoría de los países del mundo. En España, la producción bovina ha sido tradicionalmente uno de los pilares ganaderos nacionales, debido a su doble aptitud carne-leche. Las producciones ovina y caprina, aunque menos importantes económicamente, siempre han tenido una gran dispersión y tradición en el país. Así, la población ovina en España en 2015 alcanzó el 20% del total de la UE-28, sólo superada por el Reino Unido, con un 27%. España también está en segundo lugar en la población general de cabras, con un 22% (EC, 2015).

A pesar de la importancia de estas producciones en la economía española, como en muchos otros países europeos, continuamente se enfrentan a las preocupaciones sociales, por lo que se está tratando de mejorar respecto al uso de los recursos y el impacto ambiental. Uno de los casos más importantes es la producción de gases de

efecto invernadero (GEI) de los sistemas de producción de rumiantes, directamente por parte del animal mediante emisiones de  $\text{CH}_4$  de origen entérico o indirectamente a través de las emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  procedentes del nitrógeno excretado en heces y orina.

### 1.2. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son constituyentes de la atmósfera que absorben y re-emiten radiaciones. Los GEI están directamente relacionados con el calentamiento global, producido por el efecto invernadero, que permite el paso de la radiación visible del sol, pero impiden la salida de la radiación infrarroja que emite la tierra en casi un 90 % (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, 2010) lo que provoca un aumento generalizado de la temperatura.



**Figura 1.** Esquema básico del efecto invernadero

Fuente: (GOBIERNO DE NAVARRA, 2005)

Además del  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  y el  $\text{CO}_2$ , también son GEI el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), siendo los más importantes en su contribución al efecto invernadero el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ .

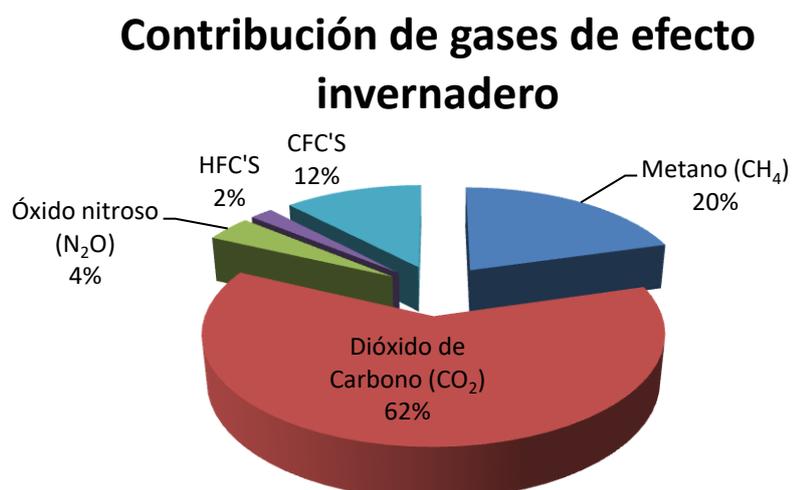
En la Tabla 1 se recogen algunos de los gases responsables del cambio climático así como sus principales características.

Compuesto	Concentración atmosférica (ppm)	Vida media (Wassmann et al, 2000)	Capacidad de efecto invernadero	Modo de acción
O <sub>3</sub>	10 -200	-	-	Absorbe radiación UV e IR
CO <sub>2</sub>	356.000	-	1	Absorbe radiación IR y afecta al ozono estratosférico
CH <sub>4</sub>	1.741	12	23	Absorbe radiación IR, afecta al ozono troposférico y estratosférico y al vapor de agua
N <sub>2</sub> O	311	114	293	Absorbe radiación IR y afecta al ozono estratosférico
HFC 134 <sup>a</sup>	-	13,8	1.300	Absorbe radiación IR y afecta al ozono estratosférico

Fuente: (Seinfeld y Pandis, 1998); (IPCC, 2001).

**Tabla 1.** Características de los diferentes tipos de GEI

El dióxido de carbono es el gas más importante para el cambio climático (EEA, 2003). A pesar de ello, resulta complicado situar al sector agrario en el marco de producción de CO<sub>2</sub>, ya que es un sector a la vez fuente y sumidero de CO<sub>2</sub>. La Figura 2 muestra la contribución de los diferentes gases al efecto invernadero global.



**Figura 2.** Contribución de los diferentes gases al efecto invernadero global

Fuente: Lelievre *et al.*, 1998

El metano es el hidrocarburo más abundante de la atmósfera, siendo su producción de origen antropogénico en su mayoría. Los animales lo liberan a través de eructos, y en menor medida mediante flatulencias, a la atmósfera, donde se convierte lentamente a  $\text{CO}_2$  (Moss *et al.*, 2000). Se ha determinado que alrededor de un 87% del  $\text{CH}_4$  se produce en el rumen, teniendo el 13% restante origen en el tracto digestivo posterior (McCaughey *et al.*, 1999). La microbiología ruminal es directamente responsable de la formación de  $\text{CH}_4$  a través de la metanogénesis. La degradación de la lignocelulosa en rumiantes por los microbios en el retículo-rumen resulta en la formación de productos de fermentación microbiana que son absorbidos y utilizados por el animal como precursores energéticos y posterior crecimiento y productividad. Otros productos derivados de la fermentación como  $\text{CO}_2$ , pequeños metil-compuesto y formiato no son utilizables por el animal y se metabolizan en  $\text{CH}_4$ . La formación de metano se completa con un grupo especializado de microbios llamados metanógenos, cuya acción evita la acumulación de estos productos finales en el rumen para mantener proceso digestivo normal (Attwood *et al.*, 2011).

Así, la reducción de la emisión de GEI es una prioridad en la actualidad, puesto que las concentraciones atmosféricas han estado aumentando rápidamente durante los últimos años, provocando fenómenos meteorológicos extremos en todo el mundo (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2016). Por esta razón, el Protocolo de Kyoto estableció que cada país debía proporcionar los métodos e instrumentos necesarios para verificar y supervisar adecuadamente las emisiones de GEI, así como las reducciones pertinentes. En 1997, los países UE y otros países industrializados establecieron un compromiso común para limitar las emisiones de gases, fijando como objetivo la reducción del 5% de las emisiones de GEI para el periodo 2008-2012, en relación a los niveles de 1990.

Al no cumplirse los objetivos por la inmensa mayoría de los países firmantes del protocolo de Kyoto, en el año 2015 se llevó a cabo la cumbre del cambio climático en París, en la que participaron 195 países del mundo, donde se alcanzó el primer acuerdo global para atajar las emisiones de GEI, mediante un pacto que se firmó el 22 de abril de 2016, coincidiendo con la celebración del Día de la Tierra, y que obligará a los países firmantes a una reducción drástica de las emisiones.

Europa es productora de alrededor del 11% de las emisiones de metano entérico a nivel mundial. En España, ascienden a un total de 11.987,12 Gg/año (FAOSTAT, 2016) y corresponden en un 34% a la producción total de metano producido en el sector agrícola, siendo el ganado ovino y caprino en su conjunto productores de 3.021,93 Gg/año. Estas dos especies abarcan alrededor del 25% de las emisiones de metano entérico a nivel nacional, de ahí la importancia de la medición de las emisiones para su progresiva reducción.

### **1.3. Medición de las emisiones de GEI**

La medición de las emisiones de gases por parte de una fuente emisora es una actividad compleja, que puede realizarse de varias formas. Esta medición dará como resultado un valor de emisión para una actividad concreta, en este caso la producción de metano entérico y dióxido de carbono, en las condiciones particulares en que se desarrolla dicha actividad. Pero lo que se necesita es obtener ciertos valores de emisión característicos para cada especie animal, por lo que es necesaria la extrapolación de datos a partir de las mediciones hasta obtenerlos.

También resulta necesario distinguir entre ratio de emisión y factor de emisión (Lacey *et al.*, 2003).

- El **ratio de emisión** es la cantidad de gas emitida por la granja en un momento dado, y se expresa normalmente en términos de unidad de producción, (gramos, miligramos, kilogramos de gas por día).
- Un **factor de emisión** es un valor que engloba las emisiones de todo un ciclo, incluyendo un posible vacío sanitario, y resulta de gran utilidad para la elaboración de inventarios de emisión. Su elaboración debe de ser más cuidadosamente. Se expresan con diferentes unidades, como pueden ser gramos de gas por animal, kg de gas emitido por metro cuadrado o litros por animal y hora.

Los ratios de emisión en un momento dado y unas condiciones establecidas, permitirán establecer diferencias entre animales o tratamientos (e.g. animales alimentados con diferentes dietas), estando así enfocado este tipo de estudios al análisis comparativo con el objetivo final de la evaluación de técnicas de reducción de

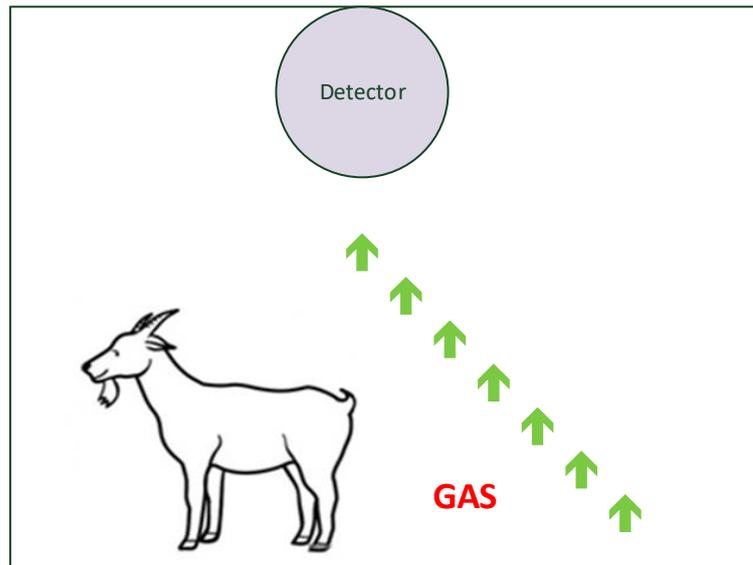
emisiones. Éste es el caso en el que se centra este trabajo, en el desarrollo metodológico para la obtención de ratios de emisión.

Una vez conocido el objetivo es importante destacar que existe una multitud de métodos para determinar ratios de emisión. En los siguientes epígrafes se detallan algunos de ellos.

### *1.3.1. Métodos para determinar las emisiones*

La medición experimental de las emisiones se fundamenta en la aplicación de diversos métodos para determinar el flujo de gas intercambiado. La determinación de cualquier gas emitido a partir de una fuente emisora se realiza habitualmente mediante balances de materia, en los cuales se valúa la variación de la concentración de dicho gas en el aire, antes y después de estar en contacto con la fuente emisora. Los principales métodos son los siguientes:

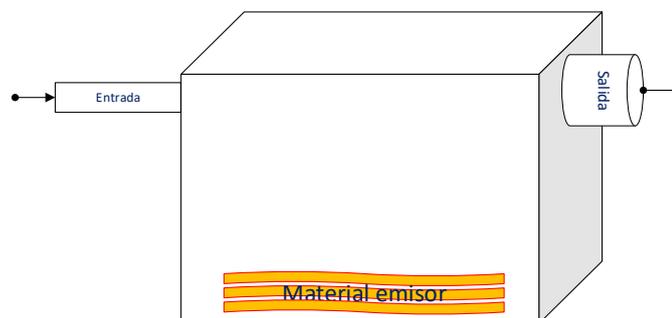
- Cámara estática: Es una cámara que cubre un área pequeña de material emisor, en la que se evalúa el incremento en el tiempo de la concentración de gas emitido (Figura 3). La duración del experimento suele ser menor de una hora, y en ese periodo se toman muestras, evitando cualquier fuga de gas del interior. El ratio de emisión se calcula a partir de la variación inicial de la concentración en el interior de la cámara. Suele usarse para estudiar las emisiones de fuentes puntuales, o emisiones procedentes de alguna superficie. Este tipo de cámaras son poco utilizadas para la medición de emisiones procedentes de animales vivos dada la falta de renovación de aire, lo que limita su utilización a mediciones de unos pocos minutos.



**Figura 3.**Esquema simple de una cámara estática.

*Fuente:* Elaboración propia

- Cámara dinámica: La cámara dinámica, también llamada cámara abierta, nos permite considerar los procesos de difusión y de transporte de los gases. Para ello, dispone de una vía de entrada de gas y otra vía de salida, y la emisión se estima a partir de las concentraciones de entrada y salida, además del flujo de aire intercambiado como se puede apreciar en la Figura 4. El sistema de medición de las concentraciones debe ser muy preciso, y la medición del flujo de aire también. La cámara dinámica es el método que usaremos en este experimento dada su capacidad de albergar animales vivos en su interior por periodos prolongados.



**Figura 4.**Esquema simple de una cámara dinámica.

*Fuente:* Elaboración propia

- Técnicas micrometeorológicas: miden el transporte turbulento de gases desde la superficie del suelo a la atmósfera. Se basan en la medición continua de las

componentes de velocidad del viento, de forma simultánea con las concentraciones de gases en diferentes puntos, sin alterar las características ambientales del entorno. Existen varios tipos de técnicas micrometeorológicas, dependiendo de su forma de cálculo de emisiones y área a cubrir, como los balances de flujo horizontal para áreas pequeñas, correlación *eddy*, estudios de gradientes de concentración y modelos de dispersión estocásticos. Estas técnicas se aplican fundamentalmente para determinar emisiones de grandes fuentes (e.g. granjas completas)

- Gases trazadores: Es un sistema aplicado a las emisiones en espacios cerrados, consistente en la medición simultánea de la concentración de dos gases a la salida del espacio de control: el primero es el gas que se quiere estudiar y el segundo es un gas inerte que se usa como trazador, liberado a una cierta dosis, siendo usual el uso del hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ). El trazador debe ser un compuesto químicamente estable, ausente en el aire ambiental, no peligroso ni inflamable, además debe poder medirse con precisión. Es un método adecuado para las situaciones en la que resulta complicado medir el flujo de ventilación, aunque también resulta un método bastante complejo, muy dependiente de la correcta mezcla de los gases.

### 1.3.2. Determinación de la concentración de los gases

Existen una gran cantidad de métodos para determinar las concentraciones de los gases. Estos métodos se basan en diferentes propiedades de éstos, y su aplicación dependerá de la precisión que se necesite, la frecuencia y el número de mediciones, así como el rango de concentraciones en el que se quiera medir. Algunos de estos métodos son la cromatografía de gases, espectroscopía de absorción infrarroja, espectroscopía láser o fotoacústica, que es la usaremos en nuestro experimento.

- La *espectroscopía fotoacústica* consiste en la aplicación de luz infrarroja intermitente de diferentes longitudes de onda preseleccionadas en función de los gases a medir. Cada tipo de molécula absorbe específicamente ciertas longitudes de onda, y esa absorción se traduce en un incremento de la temperatura. Éste viene acompañado de un incremento de presión, ya

que se produce en un recinto cerrado, y es captado gracias a una membrana que emite una señal acústica (McQueen, 1979). Este sistema ofrece grandes ventajas, como la medición simultánea y casi en continuo de diversos gases. Por otro lado, requiere menos mantenimiento y calibración que otros sistemas de medida más complejos. Sin embargo, resulta muy sensible al vapor de agua y al polvo, de forma que se requiere un sistema previo de limpieza.

### *1.3.3. Mediciones en cámara dinámica*

Anteriormente se han realizado trabajos de medición en cámara dinámica de gases en distintos países como Australia, Bélgica, Dinamarca, Alemania, Suiza, Reino Unido y España (Pinares y Waghorn, 2014). La mayoría de ellos tenían como objetivo principal la medición de la emisión de metano en rumiantes y se basaron en la construcción de cámaras muy similares a la utilizada en nuestro experimento.

Aunque todos ellos aplican técnicas de medición en cámara muy parecidas entre sí, destacan sobre todo los periodos de medición largos, de entre 12 y 24 horas de medición continua para obtener datos fiables y en cantidad suficiente para realizar los análisis. Estas mediciones tan prolongadas en el tiempo conllevan un gasto tanto económico como de mano de obra para su realización, así como un mayor trastorno para los animales empleados en los experimentos, obligados a estar durante largos periodos fuera de sus condiciones normales de estabulación.

La reducción de estos tiempos de medición en cámara a unos periodos más cortos, (1 o 2 horas como máximo), permitiría un ahorro sustancial en gasto energético, de mano de obra y evitaría trastornos excesivos en la conducta de los animales.

Por otro lado, algunos animales pueden sufrir estrés al ser alojados de forma individual, más aún en el caso de animales altamente sociales como las cabras, siendo que la soledad puede ocasionar trastornos puntuales en las mismas. En este sentido, las cámaras dinámicas se suelen diseñar con materiales transparentes, para evitar un completo aislamiento del animal de su hábitat cotidiano, permitiéndole ver la presencia de más animales en su entorno. Estos picos de estrés podrían redundar en una variación de su producción de gases, al modificarse su comportamiento

alimenticio. Así, pese a que las mediciones individuales aportan resultados más precisos y permiten multiplicar el número de muestras, los resultados podrían resultar menos representativos en referencia al estado natural de los animales.

#### ***1.4. Comportamiento en pequeños rumiantes.***

Dentro de los pequeños rumiantes, la cabra se presenta como una especie sociable, curiosa e inteligente, de gran utilidad en la industria ganadera por su carne, leche y piel. Las cabras fueron domesticadas hace unos 10.000 años (Mason., 1984; Zeder y Hesse., 2000), lo que convierte a esta especie en una de las primeras en ser domesticadas. Poseen una amplia gama de comportamientos, viéndose reflejado en actividades cinéticas generales que evidencian claras diferencias entre esta especie y otros rumiantes, mostrando una alta actividad de percepción, con una gran capacidad exploratoria, estimulada por los sentidos de la vista, el oído, el olfato y el gusto, lo que la une estrechamente al medio en el que habita (Buxadé., 1996).

##### ***1.4.1. Temperamento***

El temperamento tendrá como expresión máxima una serie de conductas recurrentes y constantes en el individuo, tales como caracteres de docilidad o agresividad, curiosidad o desinterés, altruismo o individualismo, cercanía o distancia en relación con sus congéneres, con animales de otra especie y el hombre (Miranda de Lama., 2005). El temperamento está determinado por la edad, la experiencia, el sexo y factores genéticos. Existen muy pocos estudios relacionados a las diferencias o variaciones individuales en el comportamiento de los caprinos, por lo que resulta aún difícil cuantificar qué conductas relacionadas al temperamento son heredables en los individuos y en qué proporción. Los animales requieren de cierto espacio en el alojamiento, dependiendo éste directamente de su posición social en el mismo. Por ejemplo, una cabra dominante tendrá mayor espacio individual que una cabra joven y las cabras con jerarquías similares mantienen entre ellas un espacio vital más reducido. (Miranda de Lama., 2005).

Otro componente del temperamento agresivo o agonista es el índice de pelea o lucha, que es la capacidad que tiene un individuo para competir por recursos tales como espacio, sombra, arbustos, alimento, pareja y posición social, a través de la pelea derivando en un orden social (Blanchard *et al.*, 1993). Por ejemplo en los caprinos, las jerarquías se establecen entre otras cosas, por la actitud de liderazgo, fuerza, destreza y habilidad de pelea del individuo, por lo que al interior del rebaño existe un orden de topeteo, es decir, que una cabra de mayor jerarquía puede topetear a otra de menor estatus, sin provocación alguna, ni temor a una contestación.

Como todos los pequeños rumiantes, posee también varios mecanismos de señales de reconocimiento y comunicación para mantener la estructura social de los grupos. Del mismo modo, las aproximaciones entre individuos dentro del grupo resultan esenciales para mantener el contacto social y permitir la identificación individual a partir de señales (Clutton-Brock *et al.*, 1982).

#### 1.4.2. Hábitos alimenticios

En cuanto a la disponibilidad de alimentos, si éstos son escasos, son capaces de comer lo que tengan disponible, si por el contrario hay abundancia y variedad eligen lo que más les guste manteniendo una relación relativamente constante de energía y proteína. Uno de los factores que más afecta a la conducta alimentaria es el consumo voluntario de alimento, que se determina fundamentalmente por la velocidad de digestión del retículo al rumen, basada en la capacidad de descomposición de la materia seca en el mismo (Clamping ., 1970). Esto se ve afectado por la masticación inicial en la ingesta y final en la rumia (Ulyatt *et al.*, 1986).

#### 1.4.3. Ciclo de rumia

El ciclo de rumia implica la regurgitación del material del retículo y rumen a la cavidad bucal, donde el material sólido se reensaliva y remastica antes de ser tragado. La rumia se realizan comúnmente en posición de descanso, tumbadas sobre uno de sus costados, en un estado de semi somnolencia, en aproximadamente 10 períodos repartidos durante el día. La regularidad y tiempo empleado para la rumia está relacionado al estado de alerta de la cabra. Corbett. (1953) afirma que el tiempo

ocupado para la rumia, es de tres cuartas partes del tiempo total que ocupan para alimentarse diariamente, y que también está relacionado con las diferencias genéticas entre individuos. Otros autores, como Bell y Lawn (1957), afirman que la media diaria de rumia para las cabras es de aproximadamente 8 horas, existiendo una gran variabilidad individual.

#### *1.4.4. Hábitos de descanso*

El descanso es una actividad intermitente a lo largo de todo el día. En general, las cabras pasan de 4 a 6 horas diarias descansando. El sueño es un periodo en el que se mantienen inmóviles, con su voluntad y conciencia total o parcialmente abolida, caracterizado por una postura inmóvil y sensibilidad disminuida a estímulos externos. Los caprinos suelen dormir de cuatro a cinco horas diarias, repartidas en varios periodos cortos de sueño, generalmente en parejas, apoyándose los flancos unas con otras tumbadas sobre un costado. En los periodos de reposo, también disminuye la tensión muscular habitual, observándose sobre todo en cola y orejas (Miranda de Lama., 2009).

#### **1.5. Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es el aporte de información para la optimización de la metodología de medición de emisiones de metano en cabras lecheras en una cámara dinámica. Para ello se plantean dos objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de reducir las mediciones de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> de cabras en lactación a un periodo de 2 horas frente al protocolo habitual de 24 horas.
- Analizar si existe un efecto del tamaño de grupo en las mediciones, comparando medidas de animales individuales y en grupos de 3.

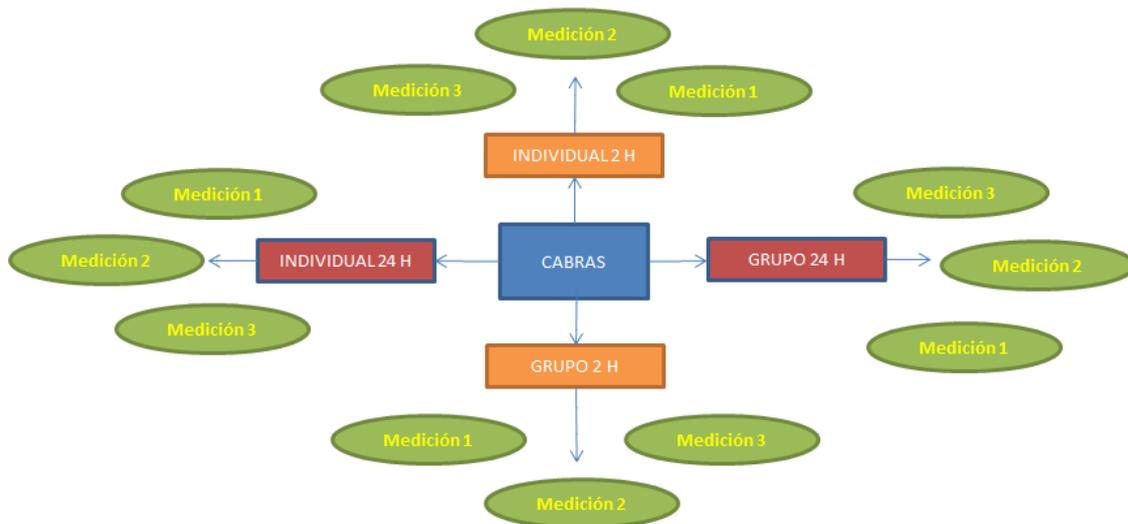
## 2. Material y métodos

Todo el procedimiento experimental se desarrolló en las granjas del Departamento de Ciencia Animal (DCA) de la Universitat Politècnica de València. El manejo y los procesos experimentales se desarrollaron acorde a la normativa española sobre la protección en experimentación animal (RD 1201/2005, de 10 de Octubre de 2005).

### 2.1. Planteamiento metodológico general

El experimento se llevó a cabo con tres cabras murciano-granadinas, secas y no gestantes con un peso vivo medio de 44,3 kg. Los animales fueron alimentados con una dieta compuesta de heno de alfalfa y concentrado comercial a partes iguales (1.5 kg de cada uno), que les fue suministrada durante los 9 días anteriores a su entrada en la cámara para su adaptación. Para determinar las emisiones de gases de las cabras se introdujeron en una cámara dinámica de forma individual y en grupos de 3 animales durante periodos de 2 y 24 horas.

De este modo, los tres animales entraron en la cámara 12 veces 6 de forma individual (tres veces para las mediciones de 2 h, cortas, y otras tres para las de 24 h, largas), y otras 6 tantas formando parte del grupo (3 cortas y 3 largas) , tal como vemos en la figura 5:



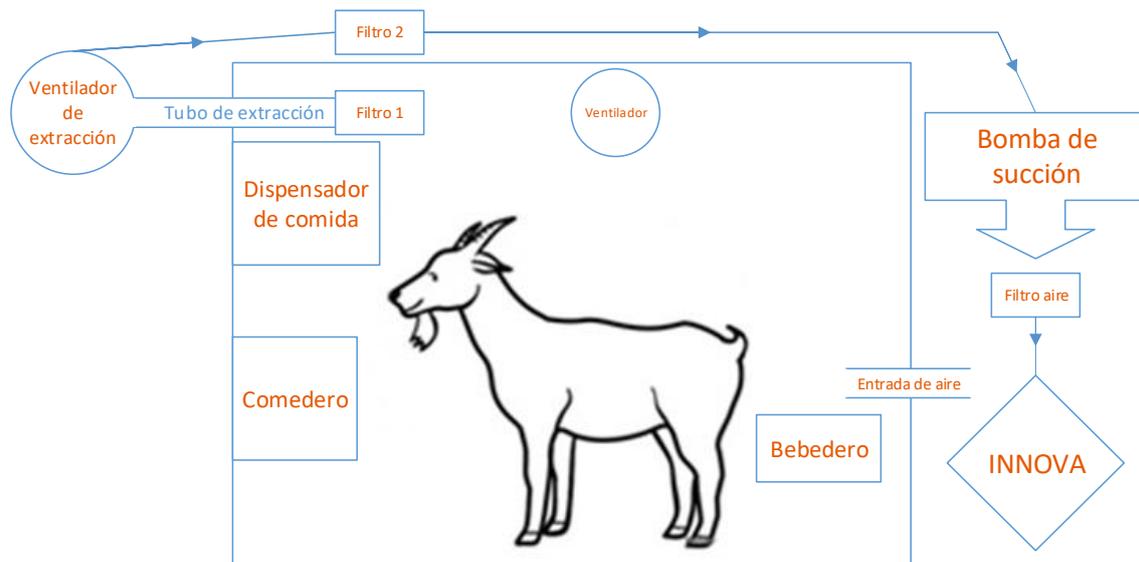
**Figura 5.** Esquema del experimento

*Fuente:* Elaboración propia

La entrada se producía sobre las 10 horas de la mañana, comenzando a registrarse las emisiones a las 11 y finalizando el experimento a las 13 horas del mismo día en el caso de las mediciones cortas, y, en el caso de las mediciones largas, los animales entraron a la cámara a las 8:30 y salieron a las 9:30 horas del día siguiente.

## 2.2. Cámara dinámica

La cámara dinámica se encuentra en la misma granja de rumiantes del DCA, y en ella se han llevado a cabo todas las experiencias de este TFG. Tiene unas dimensiones de 1.80 m de ancho, 2,80 m de largo y 2.50 m de alto. Estas medidas se determinaron a partir del RD 1201/2005, el cual indica que cada cabra debe tener un espacio mínimo de  $0.8\text{m}^2$ , pudiendo albergar hasta a 4 animales adultos permitiendo un manejo adecuado (Martí *et al.*, 2011). La figura 6 nos muestra un esquema general de la cámara dinámica y del proceso de medición.



**Figura 6.** Esquema general y proceso de medición de la cámara dinámica

Fuente: Elaboración propia

Su construcción se realizó con paneles de polimetilmetacrilato (Plexigas®) y paneles celulares de policarbonato celular, montados sobre una estructura de aluminio, como podemos observar en las figuras 7 y 8.



**Figura 7.** Vista frontal de la cámara dinámica

Fuente: Martí *et al.*, 2011



**Figura 8.** Detalle de los paneles de la cámara

Fuente: Martí *et al.*, 2011

Se instaló una valla metálica en el interior, alrededor de las paredes de la cámara, para evitar el contacto directo de los animales. En el suelo se instalaron paneles enrejillados (figura 9) que pudieran ser fácilmente desmontados para facilitar las labores de limpieza diaria, evitando así las emisiones de gases que pudiera ocasionar el estiércol.



**Figura 9.** Paneles rejilla del suelo y valla interior

Fuente: Martí *et al.*, 2011.

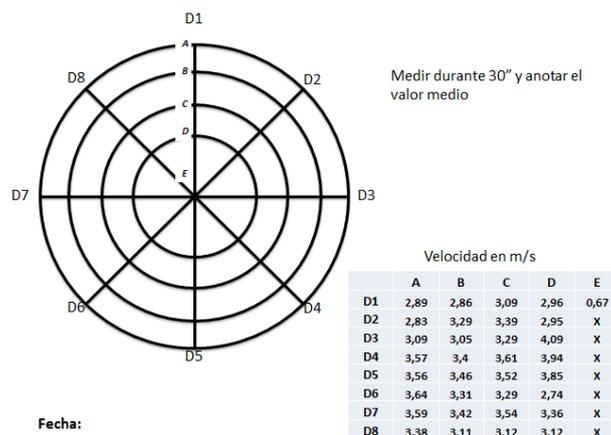
Así mismo, dentro de la cámara se instalaron también un dispensador de alimento, un bebedero, un ventilador de extracción de aire, una entrada de aire y un pequeño ventilador para la homogeneización del aire interior (figura 10).



**Figura 10.** Comedero, tubo de extracción y entrada de aire

Fuente: Martí *et al.*, 2011.

Sobre el comedero se colocó un dispensador automático de apertura programable, que se abría a las 10 de la mañana y contenía la ración correspondiente a ese día. También se realizó una calibración del ventilador de extracción, siguiendo el procedimiento descrito por AMCA (2010), durante 30 segundos con un anemómetro de hilo caliente (Testo® 425, Alemania), quedando el flujo de aire determinado en 93 m<sup>3</sup>/h. En la figura 11 podemos observar un pequeño esquema del procedimiento de medición efectuado, así como de las medidas obtenidas.



**Figura 11.** Esquema de medición de caudal y medidas

Fuente: Elaboración propia

### 2.3. Mediciones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>

Las mediciones de la emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se realizan mediante balance de materia en la cámara de flujo controlado, considerando la diferencia de concentraciones entre el interior y el exterior, y el flujo de ventilación de la cámara. Por lo tanto, la ecuación general del balance de emisiones de metano estacionario se obtiene por la siguiente expresión:

$$E=Q \times \frac{C_{\text{salida}}-C_{\text{entrada}}}{1000}$$

**Ecuación 1.** Ecuación general del balance de emisiones

Donde (E es la emisión en l/h, (Q) es el caudal en m<sup>3</sup>/h y C<sub>salida</sub>-C<sub>entrada</sub> es la concentración en ppm.

La concentración de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se miden en continuo durante 24 horas en las mediciones largas y durante 2 horas en los periodos cortos, mediante un sistema de tecnología de gas fotoacústico (INNOVA 1412, Lumasense, Dinamarca) (figura 12), conteniendo las concentraciones de ambos gases, realizando mediciones con una frecuencia de 5 minutos.

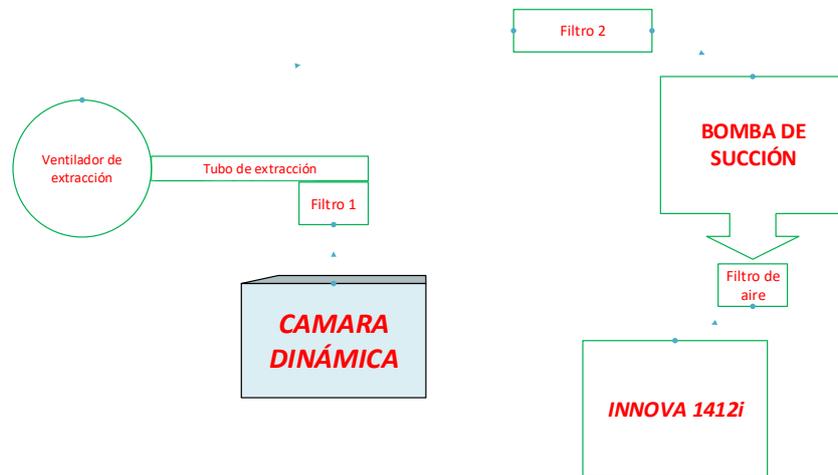


**Figura 12.** Medidor de gas fotoacústico

Fuente: LUMASENSEINC, 2016

La muestra del gas se tomó en la salida del tubo de ventilación, siendo esta representativa de la concentración dentro de la cámara. Tras la salida de los animales, se tomaron medidas de las concentraciones de los gases en el exterior durante 24 horas, con el fin de determinar las concentraciones de gases en el aire de entrada. En

ambos casos, la canalización de la muestra de gas hacia el sistema de medida se realizó mediante tuberías de plástico (PVC  $\varnothing$  6mm), y una bomba de succión (Bravo plus M, Tecora, Italia.). La figura 13 muestra un sencillo esquema de montaje del sistema.



**Figura 13.** Esquema de montaje del sistema de medición de la cámara

**Fuente:** Elaboración propia

También se llevaron a cabo controles de consumo de pienso de los animales, resultando, en todos los casos, en una completa ingesta de todo el alimento que se les suministró.

#### **2.4. Análisis estadístico**

A partir de los datos obtenidos, se calcularon las tasas de emisión medias diarias por animal y se almacenaron en varias hojas Excel, homogeneizándolos a litros por animal y por hora, dividiendo entre tres los obtenidos con los animales en grupo, con el objetivo de poder realizar análisis estadístico. El análisis exploratorio de datos se realizó mediante el programa *Statgraphics Centurion XVI*.

Para determinar el efecto del tiempo y el grupo en las emisiones, los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza. Este análisis está diseñado para estimar la contribución de múltiples factores a la variabilidad de un factor determinado. Para determinar la contribución del efecto del tiempo de estancia en la cámara sobre las emisiones de forma individual, se realizó una ANOVA multivariante considerando los

TFG

factores animal y tiempo como efectos fijos y la repetición (el número de veces que había entrado el animal en la cámara) como factor de repetición, así como su interacción, con el siguiente modelo:

$$E = A + T + REP + A \times T + \varepsilon$$

Donde,

E es la emisión del gas considerado (l/animal/h), A es el animal, T es el tiempo de permanencia, REP es la repetición y  $\varepsilon$  es el error del modelo.

Para evaluar el efecto del tiempo sobre las emisiones en grupo se utilizó una ANOVA simple siguiendo el modelo:

$$E = T + REP + \varepsilon$$

Donde,

E es la emisión del gas considerado (l/animal/h), T es el tiempo de permanencia, REP es la repetición y  $\varepsilon$  es el error del modelo.

Finalmente, el efecto del grupo y el tiempo de permanencia en la cámara sobre las emisiones se analizó mediante una ANOVA multivariante, para tratar de observar si existían diferencias significativas entre los registros individuales y en grupo:

El modelo seguido fue el siguiente:

$$E = Tipo + T + Tipo \times T + \varepsilon$$

Donde,

E es la emisión del gas considerado (l/animal/h), Tipo hace referencia al sistema de medición (individual o en grupo), T es el tiempo de permanencia, Tipo x T es la interacción entre ambos factores y  $\varepsilon$  es el error del modelo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Emisiones según el tiempo de estancia en cámara

##### 3.1.1. Análisis individual

En la tabla 2 podemos observar los resultados obtenidos en el análisis estadístico para las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> obtenidas en las mediciones individuales, así como los errores de las medias.

	2 h 24h		ERROR E. MEDIA		P-VALUE		
					TIEMPO	ANIMAL	REPETICIÓN
CO <sub>2</sub> (l/animal/h)	6,64	7,00	0,996	0,806	0,523	0,328	0,372
CH <sub>4</sub> (l/animal/h)	0,45	0,62	0,072	0,199	0,673	0,616	0,523

**Tabla 2.** Resultados estadísticos del análisis de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> para medidas individuales

Fuente: *Elaboración propia*

El análisis no mostró diferencias significativas en ninguno de los factores analizados, así como tampoco en la interacción entre los factores animal y tiempo. Esto nos permite intuir que a partir de las mediciones recogidas de manera individual en periodos cortos, podríamos llegar a estimar las emisiones que producirán los animales en periodos más largos de tiempo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Goopy *et al.* (2011), que obtuvieron una elevada correlación entre mediciones cortas (2h) de emisión de metano en ovejas frente a mediciones de más de 22 horas en cámaras dinámicas.

Los resultados obtenidos para medidas individuales de CH<sub>4</sub> son menores a los obtenidos en otros trabajos similares, (Klein y Wright, 2006), donde las medias de emisión diaria de metano (22 h) son de alrededor de 1,5 l por animal y por hora. También resultan unas mediciones menores que en trabajos con las mismas cabras, (López *et al.*, 2010), donde las emisiones registradas fueron de 0,74 l por animal y hora, y similares a las mediciones obtenidas por el mismo autor en un trabajo posterior

(López et al., 2014), donde la media de producción de metano fue de 0,55 l por animal y hora.

### 3.1.2. Análisis en grupo

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis realizado sobre las mediciones en grupo.

	TIEMPO		ERROR E. MEDIA	PVALUE
	2 h	24h		
CO <sub>2</sub> (l/animal/h)	4,54	2,56	0,251	0,006
CH <sub>4</sub> (l/animal/h)	0,40	0,19	0,002	<0,001

**Tabla 3.** Resultados estadísticos del análisis de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> para medidas en grupo

Fuente: *Elaboración propia*

Se puede observar como existen diferencias significativas entre las medias de las emisiones obtenidas en grupo, tanto para CH<sub>4</sub> como para CO<sub>2</sub>. Resulta llamativo que existan estas diferencias en el caso de las mediciones realizadas en grupo contrastando con los resultados individuales.

En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, es probable que tenga que ver con cuestiones comportamentales de los animales, quizá debido a un comportamiento agresivo a lo largo del periodo de entrada en la cámara. El temperamento agresivo o agonista determina la capacidad que tiene cada individuo para competir por recursos tales como espacio, sombra, alimento, posición social, pareja, a través de la pelea (Miranda de Lama, 2005). Por tanto, es posible que en el momento de entrada a la cámara, los animales comenzaran a establecer una jerarquía que impusiera un orden para alimentarse y beber, desde el individuo más fuerte al más débil de los tres. Este aumento de actividad podría explicar el incremento de la cantidad de emisiones a la entrada de la cámara por la mañana, que coincide con el periodo de medición de 2 horas. También, al realizarse el experimento a primera hora de la mañana, las cabras tendrían mayor actividad, debido al mayor movimiento de operarios y animales, que las mantiene en un estado más alerta. Es conocido que las variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> vienen determinadas por la actividad (INTERNATIONAL COMMISSION OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2002) y el momento en el que se alimentan los animales, siendo los momentos posteriores a la ingesta en los que mayor emisión se

produce (Amon *et al.*, 2001), por esto también, las mediciones cortas presentan una mayor variabilidad, ya que el tiempo entre la ingesta del alimento y la medición es menor, por ello, el efecto del comportamiento de los animales es más notorio. Este horario de mediciones se escogió a partir de datos de proyectos anteriores (Plumed, 2013), tras comprobar cuál era la mejor correlación entre un periodo de 2 horas y las 24 horas). Las jerarquías establecidas por los animales también pueden afectar a la producción de CO<sub>2</sub>, de forma que la cabra dominante descansa durante mayor tiempo que las dominadas en las mediciones largas, provocando un descenso en la emisión, al bajar su metabolismo (Miranda de Lama, 2009). En el caso de las emisiones de CH<sub>4</sub>, la diferencia puede deberse a que las cámaras poseen limitaciones a la hora de trabajar con varios animales en comparación con otros métodos de medición (Storm *et al.*, 2012). El comportamiento animal también puede influir en la emisión de CH<sub>4</sub> de las cabras alojadas en grupo. La cabra dominante rumia durante más tiempo debido a que su estado de alerta baja en relación a las cabras dominadas, que tienen mayores dificultades a la hora de comenzar su proceso de rumia debido al estado de alerta que la cabra dominante les obliga a mantener.

Por otro lado, no se ha encontrado una relación estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ) entre las mediciones cortas y largas, de modo que no se pueden realizar predicciones de emisiones medias diarias a partir de las medidas cortas, probablemente debido a la poca variabilidad existente en estas medidas, ya que todos los valores son muy similares. Esta similitud en las mediciones puede deberse a que la mayor cantidad de ellas se producen en los momentos posteriores a la ingesta de alimento, teniendo ambos gases una estrecha correlación en sus emisiones, y por lo tanto un comportamiento similar en los dichos momentos (Kinsmann *et al.*, 1995).

### 3.2. Emisiones según el modo de alojamiento

La tabla 4 nos muestra el resultado del análisis estadístico para ambos gases:

	ERROR			ERROR E. MEDIA	PVALUE		
	INDIVIDUAL	E. MEDIA	GRUPO		TIPO	TIEMPO	TIPOxTIEMPO
CO <sub>2</sub> (l/animal/h)	6,82	0,647	3,55	1,095	0,018	0,529	0,367
CH <sub>4</sub> (l/animal/h)	0,53	0,043	0,30	0,075	0,013	0,840	0,038

**Tabla 4.** Resultados estadísticos del análisis de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> según el modo de alojamiento

Fuente: *Elaboración propia.*

Podemos observar que existe una diferencia significativa entre las emisiones determinadas de manera individual en comparación con las obtenidas en grupo para ambos gases, así como también en la interacción tipo x tiempo, debido a la presencia del factor tiempo en el análisis. La variación en las mediciones está afectada por la variación instrumental, y por la variación animal. Storm *et al.* (2012), también afirman que los coeficientes de variación animal son de alrededor del 5 % en el caso de pequeño rumiante, dependiendo del nivel de alimentación, siendo esta variación mayor si los animales están alimentados *ad libitum*. En el caso de este experimento, el coeficiente de variación entre animales se situó en el 5.7 %, siendo pues muy similar al del estudio mencionado. Los resultados muestran unas mayores emisiones de CO<sub>2</sub> por animal cuando están alojados de forma individual. Esto puede ser producido a causa del estrés que sufren los animales al estar alojados solos, ya que son gregarios por naturaleza, provocando un aumento de la producción de CO<sub>2</sub> debido a la respiración del animal (Pedersen *et al.*, 2008).

En cuanto al CH<sub>4</sub>, las medidas realizadas muestran un resultado prácticamente igual al obtenido para el CO<sub>2</sub>. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos en las mediciones individuales y de forma grupal. Al igual que con el CO<sub>2</sub>, la emisión por cabeza es mayor en los animales alojados de forma individual

que en las alojadas de forma grupal. Esto puede ser debido a las diferencias en la ingesta de materia seca entre animales causada por el establecimiento de jerarquías. Howden *et al.* (1994) encontraron una relación muy estrecha entre la ingestión de materia seca y la emisión de metano, según la ecuación:

$$\text{Metano} \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \text{Ingesta MS} \times 0.0188 + 0.00158$$

**Ecuación 2.** Ecuación de emisión de metano por ingesta de materia seca

Según esta ecuación, la producción de metano es directamente proporcional a la ingesta de materia seca. Sin embargo, aunque este y otros modelos demostraron claramente que el principal determinante de la emisión de metano era la ingesta de alimento, se demostró también que conforme la cantidad de alimento ingerida era mayor, el porcentaje de energía bruta perdida en forma de metano se reducía (Johnson *et al.*, 1993; Pinares-Patiño *et al.*, 2001, 2003a). Esto implica que la relación entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y la ingesta de materia seca no es lineal (Mills *et al.*, 2003). Debido a esto, es posible que aunque una de las cabras comiera más que las otras por motivos jerárquicos, la emisión no sea proporcional a la Ecuación 2, y ésta fuese menor de lo esperado. Si la ingesta de los animales no es proporcional, su ciclo de rumia tampoco lo será, al igual que ocurre en el análisis para grupo. La cabra dominante comienza su rumia después de comer, pudiendo impedir que las otras cabras coman, retrasando así el proceso de rumia de éstas. Las cabras sumisas, podrían comer cuando la dominante se saciara, y no comer más a lo largo del experimento, continuando el proceso de rumia por periodos alternos de tiempo, dependiendo de su nivel de alerta, mientras que la dominante podría rumiar durante más tiempo, ya que tendría más acceso a la comida que las cabras sumisas.

#### **4. Conclusión**

A raíz de los resultados obtenidos en este trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Cuando los animales se alojan de forma individual, no se observa un efecto del tiempo de muestreo (mediciones cortas vs largas) sobre la emisión de gases, lo que podría permitir reducir los periodos de medición. Este efecto sí resultó significativo para mediciones en grupos de tres animales.
- Las emisiones por animal medidas en grupos de tres animales fueron diferentes a las determinadas de forma individual, tanto para el CO<sub>2</sub> como para el CH<sub>4</sub>. En ambos casos las emisiones individuales fueron superiores. Este efecto deberá ser investigado con detalle puesto que los efectos del comportamiento de los animales podrían estar afectando a las mediciones de emisiones de gases que tradicionalmente se llevan a cabo de forma individual.

## 5. Bibliografía

- AMON, B., BOXBERGER, J., ALT CH (2001). Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nut. Cycl. Agroecosyst.* 60, 103- 113.
- ATTWOOD, G.T. a,b,\*, ALTERMANN a .E, KELLYA E.G, LEAHYA S.G ,b, Zhang L.c,d, MORRISON M,f.(2011). Exploring rumen methanogen genomes to identify targets for methane mitigation strategies. *Rumen Microbial Genomics, Ruminant Nutrition and Microbiology Section, Food and Textiles Group, AgResearch, Palmerston North, New Zealand.*
- BELL, F. R., LAWN, A. M. (1957). The Pattern of Rumination Behaviour in Housed Goats. *The British Journal of Animal Behaviour* 5:3, pp 85–89
- BLANCHARD, D.C., SAKAI, R.R., McEWEN, B., WEISS, S.M., BLANCHARD, R.J., (1993). Subordination stress: behavioral, brain, and neuroendocrine correlates. *Behavioral Brain Research.* 58, pp 113–121.
- BUXADÉ, C. (coord.) (1996). Zootecnia. Bases de la Producción Animal. Tomo IX. Producción caprina. *Mundi-Prensa.* Madrid.
- CAMPLING, R.C. (1970). Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminants. *Oriel Press, New Castle.* p 636
- CENTRE NATIONAL DE LA RESERCHE CIENTIFIQUE (2010). *El clima de la tierra*, visto el 20 de Marzo de 2016.  
[http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclimS/contenu/alternative/alter\\_etape1\\_3.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclimS/contenu/alternative/alter_etape1_3.html)
- CIGR (2002). Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. *Commission Internationale du Génie Rural. Fourth Report of Working Group. Research Centre Bygholm.* 46 p. Horsens, Denmark.
- CLUTTON-BROCK, T.H., GUNIESS, F.E y ALBON, S.D., (1982). Red Deer: Behaviour and Ecology of Two Sexes. *Edinburgh University Press, Chicago, IL, USA.* pp 378.
- CORBETT, J. L. (1953). Grazing behaviour in New Zealand. *The British Journal of Animal Behaviour* 1, pp 67-79.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2003). *Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan por segundo año consecutivo*, visto el 22 de Marzo de 2016.

<http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/ghg-2003-es>

FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (FCCC) United Nations. *Report of the individual review of the annual submission of Spain submitted in 2012*.

GOOPY, J.P, WOODGATE .R, DONALDSON. A, ROBINSON .DL, HEGARTY .RS, (2011). Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166, p 219–226.

HOWDEN, S. M., REYENGA P. J. (1999). Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1285–1292.

IPCC. (2001). Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas., *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

JOHNSON, K. A. y JOHNSON, D. E. (1995). Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science* 73, pp 2483-2492

KINSMAN, R., SAUER. D, JACKSON. H.A, WOLYNETZ M.S. 1995. Methane and carbon dioxide emissions from dairy cows in full lactation monitored over a six-month period. *Journal Dairy Science*. 78 pp 2760–2766

KLEIN. L, WRIGHT. AG, (2006). Construction and operation of open-circuit methane chambers for small ruminants. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, p. 1257–1262.

LACEY, R. E., REDWINE, J. S., PARNELL, C. B. (2003). Particulate matter and ammonia emission factors for tunnel-ventilated broiler production houses in the Southern U.S. *Transactions of the ASAE* 46(4), pp 1203-1214.

LELIEVELD, J., CRUTZEN, P. J., DENTENER, F. J. (1998). Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology* 50(2), 128-150.

- LÓPEZ, M.C., RÓDENAS, L., PIQUER, O., MARTINEZ, E., CERISUELO, A., CERVERA, C., FERNÁNDEZ, C., (2010). Determination of the proportion of the ingested gross energy lost as exhaled methane by dairy goats consuming contrasting concentrate ingredients in mixed rations. *Canadian Journal of Animal Science* 90, pp 585–590.
- MARTÍ, J.V., ESTELLÉS, F., CALVET, S. FERNÁNDEZ, N. (2011). Diseño y puesta en funcionamiento de una cámara dinámica para el registro de emisiones de gases procedentes de pequeños rumiantes. *VI congreso ibérico de agroingeniería, Portugal*. pp. 5.
- MASON, I.L. (1984). Evolution of Domesticated Animals. *Longman*. London, UK, pp 452.
- McCAUGHEY, W.P., WITTENBERG, K. and CORRIGAN, D. (1997). Methane production by steers on pasture. *Journal of Animal Science*. 77 pp 519–524.
- McQUEEN, D. H. (1979). Acoustical theory of the Photoacoustic Effect in Gaseous and Liquid Media. *Journal of Physics D-Applied Physics* 12(10), pp 1673-1678.
- MILLS J. A., KEBREAB. E, YATES C.M, CROMPTON. L.A, CAMELL S.B, DHANOA M.S, AGNEW R.E, FRANCE. J, (2003). Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 81, pp 3141-3150.
- MIRANDA DE LAMA, G.C (2009). Principios del comportamiento individual de los caprinos. *Departamento de producción animal y tecnología de los alimentos universidad de Zaragoza, España. Artículos rumiantes archivo. Portal veterinario, albéitar*, visto el 5 de Agosto de 2016.  
<http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3367/articulos-rumiantes-archivo/principios-del-comportamiento-individual-de-los-caprinos.html>
- MOSS, A.R., JOUANY, J.P. NEWBOLD, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49, pp 231- 253.
- PEDERSEN, S., BLANES-VIDAL V., JOERGENSEN H., CHWALIBOG A., HAEUSSERMANN HEETKAMP, M.J.W. AARNICK, A.J.A. (2008). Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature review. *Online catalog of the National Agricultural Library* ,p 10.

- PINARES-PATIÑO, C.S., HUNT C., MARTIN R., WEST J., LOVEJOY P., WAGHORN G.C. (2012). Manual on respiration chambers designs. *New Zealand ruminant methane measurement centre*. pp. 9–28. GRA, New Zealand.
- PINARES-PATIÑO, C.S., ULYATT, M.J., LASSEY, K.R., BARRY, T.N. HOLMES, C.W. (2003c.) Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *Journal of Agricultural Science*, 140, pp 205-214.
- PLUMED, J., (2013). Effect of carbohydrate source in diet of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> production from dairy goats. *Tesis de fin de máster*. UPV
- SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.2, *John Wiley & Sons*, pp. 1-1326.
- STEINFELD, H., GERBER, P., WASSENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M., DE HAAN, C. (2006). *Livestock's long shadow* p. 229. Rome: FAO
- STORM, M.L.D, HELLWING A.L.F., NICOLAJ I., NIELSEN N. MADSEN J. (2011). Methods for Measuring and Estimating Methane Emission from Ruminants. *Department of Large Animal Sciences*, University of Copenhagen, Grønnegårdsvej.
- ULYATT, M. J., DELLOW, D. W., JOHN, A, REID, C. S. W., WAGHORN, G. C. (1986). Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the reticulorumen. *The Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*, Proceedings, pp. 488-517
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2016). *El cambio climático bate nuevos récords*, visto el 5 de mayo de 2016.
- <http://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-cambio-clim%C3%A1tico-bate-nuevos-r%C3%A9cords>
- ZEDER, M., HESSE, B., (2000). The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros mountains 10,000 years ago. *Science* 287, pp 2254–2257.