



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

COMPLEJO REGIONAL CENTRO, SEDE LOS REYES DE JUÁREZ
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

**USO DE SONDA INDUSTRIAL MULTIPARAMÉTRICA U-50 HORIBA PARA ESTIMAR
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AMBIENTE RUMINAL EN BOVINOS
FISTULADOS**

JESÚS RODRIGO PAZ GARCÍA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO Y ZOOTECNISTA

DIRECTORA

DRA. JENNIFER PÉREZ MARTÍNEZ

CODIRECTOR EXTERNO

PH. D. MARIO ANTONIO COBOS PERALTA

Los Reyes de Juárez, Puebla, Puebla, febrero 2025

**USO DE SONDA INDUSTRIAL MULTIPARAMÉTRICA U-50 HORIBA
PARA ESTIMAR CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL
AMBIENTE RUMINAL EN BOVINOS FISTULADOS**

La presente tesis titulada: **USO DE SONDA INDUSTRIAL MULTIPARAMÉTRICA U-50 HORIBA PARA ESTIMAR CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AMBIENTE RUMINAL EN BOVINOS FISTULADOS**, realizada por el alumno: **Jesús Rodrigo Paz García** ha sido revisada y aprobada por el siguiente Consejo Particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÓNOMICA Y ZOOTECNIA

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTORA



D.C. JENNIFER PÉREZ MARTÍNEZ

CO-DIRECTOR



Ph. D. MARIO ANTONIO COBOS PERALTA

ASESOR



D.C. GILBERTO CASTILLO LUNA

ASESOR



D.C. RAYMUNDO DOMÍNGUEZ ORDOÑEZ

DEDICATORIA

Dedico esta investigación de tesis principalmente:

A Dios, por permitir culminar una etapa más de mi vida y lograr el objetivo deseado.

A mis padres, por el apoyo incondicional, económico y sobre todo por sus sabios consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

A mis hermanos por ayudarme a sonreír y no dejarme solo en los momentos difíciles.

A mis familiares que aportaron un granito de arena para culminar este proyecto.

Con cariño y respeto

JESÚS PAZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por ser la guía en mi camino y permitirme llegar hasta este punto de mi vida y obtener un logro más con grandes satisfacciones y experiencias.

A mis padres Alfonso Josafat Paz Ávila y Patrosínia García Toscano, por la paciencia, dedicación y motivaciones diarias de continuar en la lucha para lograr esta meta, por guiarme y darme los mejores consejos, y también por su gran esfuerzo económico durante los años que cursé la Universidad. A mis hermanos José Antonio, Yesenia Isabel y Joaquín Eduardo por el apoyo y motivación en no rendirme y de seguir adelante con todo lo que me proponga.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por darme la oportunidad de pertenecer como estudiante y abrirme las puertas de sus instalaciones y haber estudiado la ingeniería en agronomía y zootecnia.

También agradezco a todos los catedráticos que me impartieron clases y brindaron de sus conocimientos para mi formación profesional, pero principalmente a mi directora de tesis D. C. Jennifer Pérez Martínez por sus aportaciones y tiempo dedicado en este proyecto.

A mis amigos y futuros colegas Manuel y Norma por su compañerismo y en especial a mis compañeras de investigación de tesis Margarita y América Celeste por ser partícipes en esta investigación.

Agradezco a todo el equipo de investigación de laboratorio y granja experimental del Colegio de Postgraduados (COLPOS) principalmente al Ph. D. Cobos, al Sr. Agustín, Sr. Jorge, M. C. Ángeles, Ing. Isabel, M. V. Z. Irineo y Sr. Zamora, por su confianza, apoyo y momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRAC.....	xi
REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
RUMEN BOVINO.....	1
MICROORGANISMOS RUMINALES.....	1
SONDA MULTIPARAMÉTRICA U-50 HORIBA.....	2
CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE CONTROL.....	2
CARACTERÍSTICAS DE LA Sonda Y sensores.....	2
sensores de medición.....	3
VARIABLES DE MEDICIÓN.....	3
TEMPERATURA.....	3
pH.....	4
POTENCIAL ÓXIDO REDUCCIÓN (ORP).....	4
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CONE).....	5
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDSL).....	5
OXÍGENO DISUELTO (OD).....	5
TURBIDEZ (TZ).....	5
SALINIDAD	5
BOVINO CON CANULA RUMINAL.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	7
HIPÓTESIS GENERAL.....	8
HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	8
CAPÍTULO I. VALIDACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LECTURAS DE pH Y TEMPERATURA DE LA Sonda MULTI-PARAMÉTRICA COMPARADAS CON DIFERENTES EQUIPOS DE MEDICIÓN DE UN LABORATORIO CONVENCIONAL.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	10
HIPÓTESIS.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
MATERIALES.....	11
MÉTODOS.....	11
MEDICIONES DE TEMPERATURA.....	11
pH.....	12
RESULTADOS.....	13
DISCUSIÓN.....	14
CONCLUSIÓN.....	15
BIBLIOGRAFÍA.....	16
 CAPÍTULO II. LECTURAS FÍSICO-QUÍMICAS DIRECTAMENTE DEL RUMEN DEL BOVINO FISTULADO USANDO EL EQUIPO INDUSTRIAL U-50 HORIBA.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	19
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVOS GENERALES.....	19
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	19
HIPÓTESIS.....	19
HIPÓTESIS GENERAL.....	19
HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
MATERIALES.....	19
VARIABLES A EVALUAR.....	20
MÉTODO.....	20
REALIZACIÓN DE LECTURAS.....	20
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIÓN.....	23
RECOMENDACIÓN.....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24
 CAPÍTULO III. TRES TIEMPO DE MEDICIÓN DE LECTURAS FÍSICAS Y QUÍMICAS CON LA SONDA HORIBA U-50 EN EL RUMEN DE BOVINOS CANULADOS.....	26
INTRODUCCIÓN.....	26
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
JUSTIFICACIÓN.....	26
OBJETIVOS.....	27
OBJETIVO GENERAL.....	27
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	27
HIPÓTESIS.....	27
HIPÓTESIS GENERAL.....	27

HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
MATERIALES.....	27
LAS VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS FUERON:.....	28
MÉTODOS.....	28
MODELO ESTADÍSTICO.....	28
RESULTADOS.....	29
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIÓN.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	32

CAPÍTULO IV. USO DE SONDA MULTI-PARAMÉTRICA PARA ESTIMAR PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DIRECTAMENTE DEL RUMEN DE VACAS CANULADAS.....

.....	33
INTRODUCCIÓN.....	33
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	34
JUSTIFICACIÓN	34
OBJETIVOS	34
OBJETIVO GENERAL	34
OBJETIVO ESPECIFICO	34
HIPÓTESIS	34
HIPÓTESIS GENERAL.....	34
HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34
MATERIALES.....	34
INSTALACIONES.....	35
VARIABLES A EVALUAR	35
MÉTODOS.....	35
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
RESULTADOS	37
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIÓN	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	41

ÍNDICE DE CUADROS

NÚM.	Pág.
1. Cantidades a agregar de sales preparadas para obtener el pH esperado.....	12
2. Evaluación de pH en diferentes concentraciones a determinados tiempos con el equipo Horiba y pH-metro.....	13
3. Temperatura, pH y ORP a las dos y tres horas después de la alimentación de bovinos fistulados.....	22
4. Resultados de lecturas realizadas antes y después de ingerir alimentos.....	30
5. Información de vacas experimentales.....	35
6. Dieta de los bovinos experimentales.....	36
7. Medias de las variables físico químicas del rumen.....	38
8. Comparación de lecturas de temperatura con tres equipos diferentes.....	41
9. Lecturas de la temperatura del ambiente de la incubadora.....	41
10. Comprobación de resultados de la variable de temperatura usando otra incubadora.....	41
11. Muestras obtenidas 2 h después de ingerir los primeros alimentos del día.....	42
12. Medición directa del rumen del bovino, realizada una hora después de ingerir los alimentos.....	42
13. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulado, por un tiempo de tres minutos.....	43
14. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulado, por un tiempo de seis minutos.....	44
15. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulada, por un tiempo de 9 min.....	45
16. Segunda lectura realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, por un tiempo de tres minutos.	46
17. Lecturas realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, 3 h después de finalizar la primera por un tiempo de 6 min.....	47
18. Lecturas realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, 3 h después de finalizar la primera por un tiempo de 9 min.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1. Rumen bovino.....	1
2. Ubicación del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo.....	10
3. Temperatura del agua cuando ésta estuvo 3 h dentro de la incubadora al medirse con los bulbos del termómetro de mercurio y Horiba.....	14
4. Temperatura del agua cuando esta estuvo 24 h dentro de la incubadora al medirse con los bulbos del termómetro de mercurio y Horiba.....	14
5. Sonda cubierta por liquido ruminal en su totalidad.....	37

RESUMEN

Las investigaciones de los rumiantes a nivel mundial se han enfocado en medir la producción de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) ya que pertenecen al grupo de gases de efecto invernadero, pero también estudiar los factores que alteran las condiciones físicas o el equilibrio químico del rumen es importante para ayudar a comprender como se puede disminuir la producción de estos gases además de mejorar el rendimiento de los animales. Los bovinos son mamíferos que consumen material vegetal fibroso, el cual es aprovechado gracias a la fermentación que se lleva a cabo a través de los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen, la microflora ruminal es una población compleja debido al número y variedad de bacterias presentes; el rumen permite un ambiente óptimo de humedad, pH, osmolaridad y temperatura favorable para el crecimiento microbiano (Crater *et al.*, 2007). A lo largo del tiempo se han utilizado diversas técnicas para su medición dentro de las cuales está la rumenocentesis, sonda esofágica, inserción de aguja trocal, el uso de la sonda oro ruminal (Quintero, 2005; Mojica, 1993), pero estas técnicas requieren de personal capacitado, equipo de uso exclusivo de laboratorio y el tiempo para obtener los resultados es a largo plazo, por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar con el equipo U-50 Horiba el pH, temperatura, salinidad (SALI), turbidez (TZ), total de sólidos disueltos (TDSL) y potencial de óxido reducción (ORP) en el rumen del bovino. La toma de lecturas tuvo una duración de 10 d, estas se realizaron dos veces al día, la primera medición se tomó en ayuno (8:00 am), la segunda toma se realizó 3 h después de que ingirieron el primer alimento del día. Se utilizó un diseño completamente al azar, se usó el procedimiento GLM de SAS (2017) y la comparación de medias fue con el método de Tukey ($\alpha < 0.05$). La temperatura y ORP en el rumen no cambiaron por efecto de la alimentación ($P > 0.05$). Para las variables de TDSL y SALI se encontró que estas se incrementaron por el consumo de alimento, ($P < 0.05$), mientras que, para la variable de pH, CONE y TZ estas se redujeron ($P < 0.05$) después de la alimentación. Se concluye que el equipo Horiba mide la temperatura en el rumen, pero el tiempo es determinante en el resultado, mide de forma confiable la concentración de iones hidrógeno, potencial óxido reducción y salinidad total. Hay que estudiar la importancia del total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica y turbidez en el rumen del bovino.

ABSTRAC

Research on ruminants worldwide has focused on measuring the production of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) since they belong to the group of greenhouse gases, but also studying the factors that alter the physical conditions or the Chemical balance of the rumen is important to help understand how the production of these gases can be reduced in addition to improving the performance of the animals. Cattle are mammals that consume fibrous plant material, which is used thanks to the fermentation that is carried out through microorganisms that live in symbiosis in the rumen, the ruminal microflora is a complex population due to the number and variety of bacteria present; the rumen allows an optimal environment of humidity, pH, osmolarity and temperature favorable for microbial growth (Crater *et al.*, 2007). Over time, various techniques have been used for its measurement, including rumenocentesis, esophageal probe, insertion of a trocal needle, and the use of the rumen oroprobe (Quintero, 2005; Mojica, 1993), but these techniques require of trained personnel, equipment for exclusive laboratory use and the time to obtain the results is long term, so the objective of the present investigation was to evaluate with the U-50 Horiba equipment the pH, temperature, salinity (SALI), turbidity (TZ), total dissolved solids (TDSL) and oxide reduction potential (ORP) in the bovine rumen. The readings were taken for 10 days, they were taken twice a day, the first measurement was taken while fasting (8:00 am), the second measurement was taken 3 h after they ate the first food of the day. A completely randomized design was used, the GLM procedure of SAS (2017) was used and the comparison of means was with the Tukey method ($\alpha < 0.05$). Temperature and ORP in the rumen did not change due to feeding ($P > 0.05$). For the TDSL and SALI variables it was found that these increased due to food consumption ($P < 0.05$), while for the pH, CONE and TZ variables these were reduced ($P < 0.05$) after feeding. It is concluded that the Horiba equipment measures the temperature in the rumen, but time is decisive in the result, it reliably measures the concentration of hydrogen ions, oxidation reduction potential and total salinity. The importance of total dissolved solids, electrical conductivity and turbidity in the bovine rumen must be studied.

REVISIÓN DE LITERATURA

RUMEN BOVINO

Los rumiantes son mamíferos herbívoros, entre los cuales están incluidos los bovinos, ovinos y caprinos (Fernández, 2012). Una de las características del sistema digestivo bovino radica en tener un estómago dividido en cuatro compartimientos, dos anteriores y dos posteriores, los primeros son el retículo (bonete) y el rumen (panza), los segundos incluyen el omaso (librillo) y el abomaso (cuajar) (Dyce *et al.*, 1999); sin embargo, se considera al rumen y retículo como una sola unidad, el estómago ocupa el 75% de la cavidad abdominal situado principalmente en el lado izquierdo del animal.

El rumen es de formación sacular, ovoidea que presenta dos caras, dos curvaturas y dos extremos, éste se considera un ecosistema anaeróbico por excelencia y un gran saco de fermentación donde se presentan características particulares de pH, temperatura y ORP, además puede contener de 100 a 120 kg de materia digestiva (Wattiaux y Howard, 2007) donde se desarrolla una gran actividad microbiana ya que es el habitat de bacterias, protozoos, hongos y arqueas.

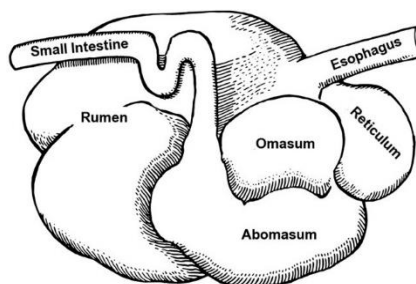


Figura 2. Rumen bovino.

MICROORGANISMOS RUMINALES

El ambiente microbiano anaerobio que posee el rumen es uno de los más diversos que pueden existir, ya que contiene cerca de 24 géneros de bacterias, 30 de protozoarios y 5 de hongos (Cobos, 2015). Las bacterias ruminales son los microorganismos más importantes en la fermentación y degradación de los alimentos que llegan al rumen, la gran mayoría son gramnegativas y anaerobias estrictas dentro de las cuales se

encuentran bacilos, cocos, cocobacilos, espiroquetas, esporoformes, sarcinas, treponemas y vibrios (Cobos y Shimada, 2015).

SONDA MULTIPARAMÉTRICA U-50 HORIBA

Horiba U-50, es una sonda multiparamétrica diseñada para el análisis de agua y mediciones simultaneas de 11 parámetros, este equipo está dividido en dos secciones, el control de mando y la sonda, es un instrumento de campo, resistente, a prueba de agua y golpes, está diseñado para el análisis de aguas residuales, pantanos, biodigestores, aguas subterráneas y superficiales (Horiba, 2017).

Características de la unidad de control

- Operaciones con solo una mano.
- Contienen una pantalla de LCD de 320 x 240 para una buena visualización de las lecturas, retroiluminación.
- Memoria interna para almacenar 10,000 datos.
- Función a través de pilas con una duración de 70 h de trabajo, 500 mediciones aproximadamente.
- Conexión USB y GPS.
- Conexión fácil y rápida del cable a la unidad de control.
- Cubierta resistente a golpes.
- Instrucciones de operación en pantalla.
- Botones de diferentes comandos del sistema.
- Dimensión externa 115(A) x 66(G) x 283(L) mm.
- Peso 800 g.

Características de la sonda y sensores

Está compuesta por diferentes sensores (electrodos), los cuales están incrustados y cubiertos por una carcasa que sirve de filtro y protección, cuenta con pequeños orificios para el paso de líquidos y con una base de goma.

- Diámetro de la sonda 96 mm.
- Longitud de la sonda 340 mm.

- Longitud de cable 10 m.
- Peso 1800 g.

Sensores de medición

- pH: Principio de medición con un electrodo de vidrio, rango de medición de pH 0 a 14, resolución de 0.01 pH.
- pH (mV): Conversión del ORP.
- Potencial de Oxidación Reducción: Principio de medición electrodo de platino, rango de medición de -2000 mV a +2000 mV, resolución de 1 mV.
- Oxígeno disuelto: Principio de medición electrodo polarográfico, rango de medición de 0.0 a 50.0 mg/L, resolución de 0.01 mg/L.
- Conductividad: Principio de medición electrodo 4 AC., rango de medición de 0 a 10 S/m (0 a 100 mS/cm).
- Salinidad: Principio de medición conversión del valor de conductividad, rango de medición de 0 a 70 ppt (part. per thousands).
- Solidos Disueltos Totales: Principio de medición conversión del valor de conductividad, rango de medición de 0 a 100 g/L y resolución de 0.1% del rango completo.
- Temperatura: Principio de medición termómetro en platino JIL clase b, rango de -10 a 55 °C, resolución de 0.01 °C.
- Turbidez: Principio de medición lámpara LED y método de difusión 30 °C, rango de 0 a 800 NTU.

Este sistema se puede ampliar con la activación de GPS que permite la grabación de la longitud, latitud y ubicación del sitio en donde se realizaron las medidas (Horiba, 2017).

VARIABLES DE MEDICIÓN

TEMPERATURA

Es un concepto que se determina por el equilibrio térmico y se deriva de la idea de medir en un grado frío o caliente, a pesar de ser un factor abiótico para algunos organismos vivos, también afecta a las propiedades físicas y químicas de otros ecosistemas. A nivel ruminal la temperatura se considera un parámetro fisicoquímico importante, en animales sanos pueden existir rangos extremos, en especial después de 3 h de la alimentación, ya que la temperatura ruminal puede elevarse hasta los 42 °C, sin embargo, se considera

que la temperatura ruminal óptima es de 38.0 a 40.5 °C (Cobos y Shimada 2015). Otros autores mencionan que la temperatura del rumen se mantiene en rangos de 39 a 39.5 °C (Wahrmund *et al.*, 2012) y puede aumentar a 41 °C inmediatamente después de que el animal come por el proceso de fermentación que genera calor, sin descartar que la dieta y cantidad administrada al animal es un factor importante (Brod *et al.*, 1982).

pH

Es una propiedad química que mide el grado de acidez o de alcalinidad de una solución acuosa. Se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H^+) con base 10; en la escala numérica el pH va de 0 a 14, donde las sustancias ácidas son aquellas menores de siete, bases o alcalinas las que van de 8 a 14 y neutras las que están en 7 (Lim, 2006). El concepto de pH se usó por primera vez por el danés Søren Peter que vivió en los años 1868-1939 (Myers, 2010), y para 1941 Smith realizó el primer intento de medir continuamente el pH ruminal, para lo cual realizó tres mediciones al día por un periodo de 5 d con la ayuda de un pHmetro Beckman el cual tenía un electrodo de vidrio, más tarde Lampila 1955 y Matcher en 1957 midieron el pH de forma continua en bovinos y ovinos canulados usando un electrodo de vidrio. En el rumen, el pH óptimo para una actividad y multiplicación de la fauna microbiana es de 6.2 a 7.0, en este rango se favorecen los procesos de fermentación (Calsamiglia y Ferret, 2002). Sin embargo, el pH puede bajar a 5.2, 3 h después de la alimentación del animal (Cobos y Shimada 2015); cuando éste disminuye se puede deber a distintos factores como la alimentación, producción de saliva, generación y absorción de ácidos grasos e intercambio de carbonato fosfato (Aschenbach *et al.*, 2011). Al suceder esto, disminuye la rumia, se neutralizan los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y se reduce el número de bacterias y protozoarios ya que hay un aumento de osmolaridad (Krause y Oetzel, 2006).

POTENCIAL ÓXIDO REDUCCIÓN (ORP)

El ORP es una forma de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo convirtiéndola en energía eléctrica, cuando el redox es positivo significa que se produce una oxidación, pero si es negativa se produce una reducción, esto viene acompañado de los cambios de pH; el ORP usa la medición de voltios o milivoltios (mV) según la actividad del electrodo de medición que puede usar un metal noble, ya que estos no intervienen en la reacción química, uno de los más comunes es el platino, además de

plata y oro. Se sabe que el ambiente ruminal es anaerobio, lo que significa que constantemente está en reducción, sin embargo, en ocasiones es posible encontrar muy poco oxígeno, producto del alimento o el agua ingerida (Church, 1974). Este ambiente favorece a los microorganismos anaerobios según lo indica el potencial de oxidación que esta entre -250 a -450 mV (Yokoyama y Johnson, 1988; Cobos y Shimada, 2015).

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CONE)

Es una medida de capacidad de una solución para transmitir corriente eléctrica en soluciones acuosas lo que permite que su velocidad disminuya o aumente con la temperatura, la conductividad se mide con una sonda electrónica que aplica voltajes en dos electrodos y se usan unidades de medición como: Siemens/Cm (S/cm), en milésimas es decir miliSiemens/cm (mS/cm) o en millonésima que es microSiemens/cm (μ S/cm).

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDSL)

Sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en ingles), se refiere a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso, se encarga de medir específicamente el total de residuos sólidos filtrables, uno de los métodos más sencillos para evaluar TDS es utilizar la media de conductividad del agua, ya que se sabe que existe una correlación directa entre conductividad y TDS (Rodier, 2011).

OXÍGENO DISUELTO (OD)

Es uno de los gases más importantes en la caracterización de los sistemas acuáticos (Roldán y Pérez 1992). Cuando los niveles son muy bajos es un indicativo de bacterias (Rogers *et al.*, 2001). Su solubilidad aumenta cuando disminuye la temperatura y la salinidad, lo que afecta el porcentaje de oxígeno de un cuerpo (Roldán y Pérez 1992).

TURBIDEZ (TZ)

Es una medida en la cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, ésta se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), donde se ocupan lámparas de tungsteno, láser o leds para medir la longitud de onda (Deloya, 2016).

SALINIDAD

Es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua, la salinidad y la conductividad están relacionadas por la cantidad de iones disueltos que hace que aumenten los valores de ambas, la forma de medición es con la ayuda de un hidrómetro, éste mide la gravedad

específica que puede convertirse en salinidad o un refractómetro encargado de medir la capacidad del agua para refractar la luz, se usan unidades como g/L o partes por mil (ppt). La salinidad es una propiedad física que puede afectar las funciones fisiológicas de los organismos al alterar su balance osmótico, lo que afecta su distribución y comportamiento (Mann y Lazier, 1996; Lalli y Parsons, 1997; Mann, 2000); sin embargo, existen microorganismos que pueden sobrevivir en ambientes salinos o hipersalinos, estos se les conoce como halófilos los cuales requieren de ciertas cantidades de sal para poder crecer y sobrevivir (Oren, 2002; Ventosa, 2006). Kushner y Kamekura (1988) mencionan que los microorganismos halófilos se clasifican según la concentración de sal, en no halófilos, débiles, moderados y extremos. Los primeros necesitan medios con una concentración de NaCl (cloruro de sodio) menor a 0.2 M (1%), mientras que para los débiles el crecimiento óptimo es de 0.2 a 0.5 M de NaCl (1 a 3%) y los moderados crecen en medios de 0.5 a 2.5 M (3 a 15%) de NaCl. Y los extremos requieren concentraciones de 2.5 a 5.2 M (15 a 32%) saturación de NaCl (De la Haba *et al.*, 2010).

BOVINO CON CÁNULA RUMINAL

La fistulación de los rumiantes es una herramienta eficaz para los estudios de investigación (*in vivo* e *in situ*) ya que es una abertura permanente en el rumen donde se puede estudiar la fisiología, anatomía y bioquímica del aparato digestivo, principalmente del rumen, de tal manera que se usan técnicas para estudiar la fisiología ruminal; éstas se dividen en *in vitro* e *in vivo*, la primera es cuando los animales con cánula son donadores de líquido ruminal o se realizan estudios a nivel bacteriano (MÑanguez, 2010) y la segunda es cuando se trabaja dentro del rumen, como es la técnica de la bolsa de nylon (Meherez y Orskov, 1977). El ganado bovino con fístula ruminal tiene como objetivo ser usado en investigaciones de nutrición que permiten tener líquido ruminal de manera rápida y segura, para realizar estudios de trastornos digestivos además de que ha permitido un mejor conocimiento de la anatomía y fisiología del rumen (Balch *et al.*, 1962). En la presente investigación se utilizaron animales con cánula ruminal de la marca Bar Diamond con reborde enrollado de 10 cm de diámetro central, espesor de la pared del cuerpo de 7.5 cm. El peso del tapón es de 2 907 g. Este tipo de cánulas son usadas para animales con pared corporal gruesa y peso mayor de 200 kg, el material es flexible lo que ayuda a la colocación en la fosa lumbar izquierda durante la cirugía.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ganadería juega un papel importante para cubrir las necesidades de proteína para la población mundial, sin embargo, produce casi el 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que durante la digestión fermentativa de los rumiantes se produce en el rumen metano (CH_4), este gas tiene un potencial de calentamiento 28 veces más que el bióxido de carbono (IPCC, 2013), con lo cual se contribuye al calentamiento y al cambio climático global. Comúnmente este gas se mide al obtener las propiedades físicas y químicas del rumen en un laboratorio con ayuda de diferentes equipos especializados los cuales dan resultados precisos y confiables; el conocimiento de las condiciones óptimas del rumen, así como los factores que lo pueden alterar son importantes para garantizar un correcto crecimiento microbiano y con ello una buena producción.

JUSTIFICACIÓN

Sin embargo, el alto costo de inversión de los aparatos, el uso exclusivo de estos en el laboratorio y el largo tiempo en la obtención de resultados además de requerir mano de obra especializada hace que se busquen alternativas de equipos que ayuden a medir de forma rápida y confiable las características físico-químicas del rumen por lo cual se evaluó el equipo HORIBA U-50 de uso industrial, el cual puede medir el pH, temperatura y redox en medios acuosos, es portátil, da resultados instantáneos, además que es de uso fácil.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un método para el uso óptimo del Horiba U-50 en el rumen de vacas canuladas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la precisión y estabilidad del equipo U-50 en las variables de pH, potencial de óxido reducción, temperatura, salinidad, total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica y turbidez en muestras del rumen bovino.
- Evaluar con el equipo U-50 Horiba lecturas físico-químicas del rumen antes y tres horas después de ingerir los alimentos.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- El método diseñado tendrá un uso óptimo para las lecturas ruminales de vacas canuladas.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- El equipo Horiba podrá medir el pH, potencial oxido reducción, temperatura, salinidad, total de solidos disueltos y turbidez en muestras tomas directamente del rumen bovino.
- Los valores de pH, potencial de óxido reducción, temperatura, salinidad, total de solidos disueltos y turbidez son diferentes antes y tres horas después del alimento matutino.

CAPÍTULO I. VALIDACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LECTURAS DE pH Y TEMPERATURA DE LA SONDA MULTI-PARAMÉTRICA COMPARADAS CON DIFERENTES EQUIPOS DE MEDICIÓN DE UN LABORATORIO CONVENCIONAL

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera actual de los países en vías de desarrollo empieza a depender de la nueva tecnología y de las herramientas que ayudan a incrementar la producción dentro los diferentes sistemas ganaderos (Mora-Villamizar *et al.*, 2019). El estudio del rumen bovino es uno de los más complejos y diversos que pueden existir, en este se obtienen características físico-químicas importantes para su buen funcionamiento (Mirón, Ben-Ghedalia, Morrison, 2001). Dentro de estas se encuentra el pH y la temperatura las cuales permiten estimar si hay condiciones adecuadas para la actividad de los microorganismos ruminales (Wahrmund *et al.*, 2012). El pH óptimo para el rumen es de 6.1 a 7.2 (Shimada y Cobos, 2015) mientras que la temperatura adecuada tiene un rango de 38 a 42 °C (Yokoyama y Johnson, 1988). En la actualidad existen equipos de laboratorio que pueden realizar mediciones únicas para cada variable como el termómetro de mercurio, pH metro de mesa, incubadoras etc.; pero estos son de uso exclusivo de laboratorio, el tiempo para la obtención de resultados es extenso y se requiere de personal capacitado. Por lo cual, como alternativa se utilizará el equipo HORIBA U-50 para medir temperatura y pH el cual se comparará con equipos de laboratorio de uso convencional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el estudio del rumen bovino se ha vuelto una línea de investigación importante, donde la alimentación juega uno de los principales papeles en la modificación de la composición físico-química del rumen, la cual pueden beneficiar o afectar a los microorganismos ruminales, sin embargo, se requieren diferentes equipos donde cada uno mide una característica específica, éstos son costosos y de uso exclusivo de laboratorio además de que se requiere de personal capacitado para su manipulación.

JUSTIFICACIÓN

De tal manera que se pretende analizar si en la ganadería se puede usar el equipo de campo de uso industrial U-50 Horiba, el cual contiene una sonda multi paramétrica la cual mide el pH y la temperatura con un solo aparato y da resultados instantáneos.

OBJETIVOS

- Evaluar la precisión y exactitud de los sensores de temperatura y pH de la Sonda.
- Comparar las lecturas de la sonda con las lecturas de los diferentes equipos de laboratorio.

HIPÓTESIS

- Los sensores de la sonda tienen el potencial de realizar lecturas de temperatura y pH.
- Las lecturas obtenidas por la sonda pueden tener diferencias con las realizadas con los equipos de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el laboratorio de microbiología ruminal y genética microbiana ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. coordenadas 19° 27' 38 N., 98° 54' 11" O a una altitud de 2250 m.

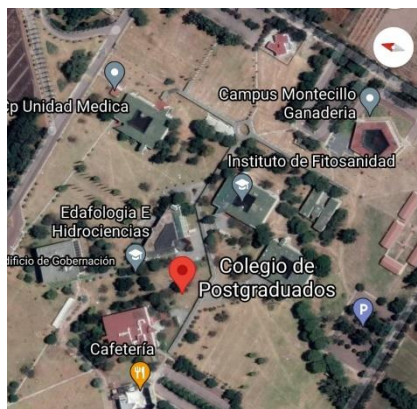


Figura 2. Ubicación del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo.

MATERIALES

- Termómetro de mercurio (IMM LAUKA 550).
- Sonda multiparamétrica de análisis de calidad del agua, modelo U-50, (Japón).
- Fosfato de Potasio monobásico (KH_2PO_4).
- Fosfato de Sodio dibásico (Na_2HPO_4).
- Agua destilada.
- 2 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- Matraz volumétrico de 100 ml.
- pH-metro de mesa (ORION modelo 250^a).
- Plancha magnética de agitación (Thermolyne Cimarec 3).
- Incubadora (memmert in 75).
- Pipeta de 5 ml (kimax Mex).
- Imán de 3 cm.

METODOS

Medición de temperatura

Para iniciar con las evaluaciones del bulbo del termómetro de mercurio y el sensor de la sonda previamente se acondicionó una incubadora (INU) a 39 °C durante 3 h antes de realizar las mediciones, se colocó un recipiente con 1 L de agua potable adentro de la incubadora para regularizar la temperatura a 39 °C y tener las condiciones similares a las del rumen, también se introdujo la sonda y el termómetro 20 min antes de iniciar la prueba, posteriormente se inició con la lectura de temperatura a diferentes tiempos, 0, 3, 6, 9, 12 y 15 min.

Para comprobar las lecturas obtenidas con los diferentes bulbos se usó otra incubadora (IND) bajo las mismas condiciones con la misma cantidad de agua, en donde la única diferencia fue que el recipiente con agua permaneció en la incubadora durante 24 h; la temperatura del medio acuoso y la incubadora eran iguales de tal manera que el bulbo del termómetro y el sensor de la sonda se introdujeron 30 min antes de la toma de lecturas, con el fin de que ambos equipos tuvieran la temperatura de 39 °C, cabe mencionar que la sonda se introdujo apagada.

pH

Para la evaluación del pH se prepararon 100 ml de solución a 0.5 M de Fosfato de Potasio Monobásico (KH_2PO_4). Posteriormente se pesó 3.402 g de la sal KH_2PO_4 en una balanza analítica, se transfirió la sal a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenía 50 ml de agua destilada y un imán; se mezcló durante 8 min, una vez homogénea se colocó en un matraz donde se aforó a 100 ml con agua destilada; una vez realizado se regresó la solución a un matraz Erlenmeyer de 250 ml (previamente lavado y seco), para ser etiquetado con la leyenda: solución 0.5 M de KH_2PO_4 , donde se incluyó el nombre del autor y fecha.

Para la segunda solución se pesaron 3.549 g de sal Fosfato de Sodio Dibásico (Na_2HPO_4) en una balanza analítica, para preparar 100 ml de solución a 0.5 M de Na_2HPO_4 . Posteriormente la sal se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que ya contenía 50 ml de agua destilada y un imán, para su mezcla homogénea, posteriormente se colocó en un matraz y se aforó a 100 ml con agua destilada, la solución se pasó a un matraz Erlenmeyer de 250 ml previamente lavado y seco para ser etiquetado con la leyenda: solución 0.5 M de Na_2HPO_4 donde se incluye el nombre del autor y fecha.

Una vez que se realizaron las soluciones principales, se prepararon tres soluciones con pH aproximado de 5.8, 6.8 y 7.2 (Cuadro 1).

Cuadro 3. Cantidades a agregar de sales preparadas para obtener el pH esperado.

pH	KH_2PO_4 0.5 M	Na_2HPO_4	Agua destilada
Aproximado	ml	ml	ml
5.8	5.5	0.7	493.8
6.8	1.1	2.6	496.3
7.2	0.6	3.4	496

pH, concentración de ion hidrógeno; KH_2PO_4 , Fosfato de Potasio Monobásico; Na_2HPO_4 , Fosfato de Sodio Dibásico.

En un envase plástico de 1000 ml, se adicionó la solución de fosfato de sodio 0.5 M sobre la solución de fosfato de potasio 0.5 M y se agregó el agua destilada correspondiente a cada solución pH (5.8, 6.8 o 7.2); se realizó la calibración del pH-metro a una concentración de cuatro y siete, una vez calibrado se realizaron las lecturas correspondientes con ambos equipos en tiempos de 3, 6, 9 y 12 min.

RESULTADOS

El pH-metro es un equipo que se utiliza normalmente para medir pH de diferentes sustancias acuosas, sin embargo, existen equipos de campo poco usuales que dan resultados similares a este. El equipo Horiba es un equipo confiable para medir pH ya que en las concentraciones de 5.8, 6.8 y 7.2 se encontró que se obtenían resultados similares a los del pH-metro (5.81 a 5.83, 6.83 a 6.83 y 7.18 a 7.21 respectivamente) del min 3 al min 12 (Cuadro 2).

Cuadro 4. Evaluación de pH en diferentes concentraciones a determinados tiempos con el equipo Horiba y pH-metro.

Conc. pH	Equipo	3	6	9	12	$\bar{x}$	D.E.	C.V.
Min								
5.8	pH-metro	5.87	5.79	5.83	5.81	5.83	0.03	0.59
	Horiba	5.82	5.80	5.80	5.81	5.81	0.01	0.16
6.8	pH-metro	6.81	6.82	6.85	6.84	6.83	0.02	0.27
	Horiba	6.80	6.84	6.85	6.84	6.83	0.02	0.32
7.20	pH-metro	7.18	7.17	7.18	7.18	7.18	0.00	0.07
	Horiba	7.20	7.22	7.21	7.21	7.21	0.01	0.11

Conc. pH, concentración de iones hidrógeno; D. E., desviación estándar; C. V., coeficiente de variación; $\bar{x}$, media.

Respecto a la temperatura en la Figura 3 se muestra que cuando el agua se colocó 3 h antes en la incubadora y los sensores se introdujeron 20 min antes de iniciar la toma de lecturas, al comparar los bulbos del termómetro y el Horiba en el min 0 la temperatura era de 34 y 36 °C respectivamente, sin embargo, en el min 6 ambos equipos se estabilizaron a una temperatura de 34 °C y esta se mantuvo hasta el min 15.

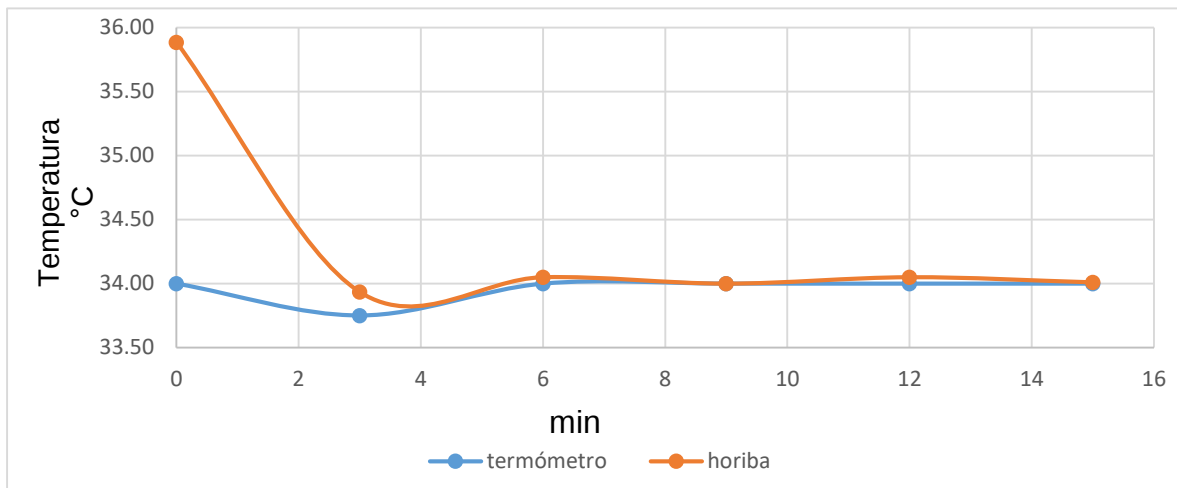


Figura 3. Temperatura del agua cuando ésta estuvo 3 h dentro de la incubadora al medirse con los bulbos del termómetro de mercurio y Horiba.

Cuando el recipiente con agua permaneció en la incubadora durante 24 h y los sensores se introdujeron 30 min antes de la toma de lecturas, se observa que en el minuto 0 ambos equipos empezaron con una temperatura de 33 °C la cual se mantuvo hasta el minuto 15 (Figura 4).

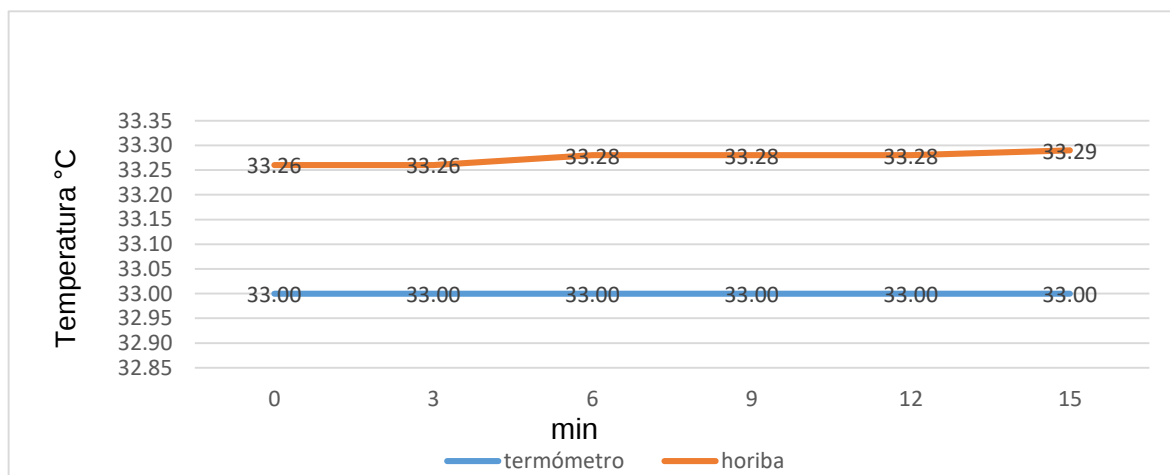


Figura 4. Temperatura del agua cuando esta estuvo 24 h dentro de la incubadora al medirse con los bulbos del termómetro de mercurio y Horiba.

DISCUSIÓN

La temperatura es una de las variables más importantes en el rumen del bovino ya que cumple con caracteres únicos que establecen el funcionamiento y supervivencia de los microorganismos ruminales, como bacterias, protozoarios, hongos y arqueas, la temperatura óptima que se presenta en el rumen va de 38 a 40.5 °C aunque ésta puede elevarse a 42 °C después de 3 h de la alimentación debido a la producción de saliva y fermentación; sin embargo la temperatura corporal, rumia y movimientos ruminales son otros factores que pueden modificar la temperatura del animal, (Cobos y Shimada, 2015). En la presente investigación, al tomar las lecturas con el termómetro de mercurio y el Horiba, ambos equipos presentaron la misma temperatura en el mismo ambiente.

Otra característica fisicoquímica del ambiente ruminal es el pH ya que éste es el encargado de favorecer el proceso fermentativo de los alimentos, el ideal va de 6.2 a 7.0 (Calsamiglia y Ferret, 2003). El pH puede variar según el tipo, forma y frecuencia del alimento consumido, un pH por debajo de 6.0 provoca la muerte de los diferentes microorganismos ruminales principalmente bacterias encargadas de la degradación de los alimentos, lo cual induce a una acidosis (Restrepo, 2005). Al comparar el pH-metro de mesa con el Horiba se encontró que ambos dan resultados similares en las diferentes soluciones y tiempos.

CONCLUSIÓN

Se concluye que el equipo Horiba es capaz de medir la temperatura en un ambiente acuoso de manera confiable como un termómetro de mercurio, además determina el pH de manera segura igual que un pH-metro de mesa.

BIBLIOGRAFÍA

- Alméciga Gómez, A. M., & Muñoz Martínez, M. (2013). pH, historia de un concepto. Análisis en textos de educación superior.
- Aschenbach, J. R., Penner, G. B., Stumpff, F., & Gäbel, G. (2011). Ruminant nutrition symposium: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *Journal of animal science*, 89(4), 1092-1107.
- Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2002). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. *XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA)*. Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.
- Crater, A.R., Barboza, P. S., y Forster, R. J. (2007). Regulación de la fermentación ruminal durante las fluctuaciones estacionales en la ingesta de alimentos de los bueyes almizcleros. *Bioquímica y fisiología comparadas Parte A: Fisiología molecular e integrativa*, 146 (2), 233-241.
- Church, D. C. (1974). Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 11-20.
- Cobos Peralta, M., & Shimada Miyasaka, A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. *Nutrición Animal 3ª. ed. Armando Shimada Miyasaka (editor)*. Trillas, 67-105.
- De la Haba, R. R., Sánchez-Porro, C., Márquez, M. C., y Ventosa, A. (2011). Taxonomy of halophiles. *Extremophiles handbook*, 1, 255-308.
- Jensen, WB (2004). El símbolo del pH. *Revista de Educación Química*, 81 (1), 21.
- KM, K. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds. *Anim Feed Sci Technol*, 126, 215-236.
- Kamekura, M., Oesterhelt, D., Wallace, R., Anderson, P. y Kushner, DJ (1988). Lisis de halobacterias en bactopectona por ácidos biliares. *Microbiología aplicada y ambiental*, 54 (4), 990-995.
- Kushner DJ, Kamekura M. Physiology of halophilic eubacteria. En: Rodríguez Valera F, editor. *Halophilic Bacteria*, vol. 1. Boca Ratón: CRC Press; 1988. p.109–138.
- MÃnquez, R. E., Rueda, L. R., MartÃnez-Darve, J., & MiguÃ, S. (2010). Procedimiento quirurgico para la implantacion de una fistula permanente en ovejas. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 4(2), 41-53.
- Mojica J.R. (1993). Estandarización del método “Roll Tube” para el conteo y aislamiento de bacterias anaerobias ruminales. Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Mora-Villamizar, D. A., Morales-Pérez, K. T., & Barrientos-Monsalve, E. J. (2019). Análisis de la competitividad entre las empresas los olivos y la esperanza en Cúcuta, Norte de Santander-según las cinco fuerzas de Michael Porter. *Revista convicciones*, 6(11), 69-75.
- Myers, R. J. (2010). One-hundred years of pH. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 30-32.
- Oren A. Halophilic microorganisms and their environments. Dordrecht: Springer; 2002.
- Ventosa, A., Sánchez-Porro, C., Martín, S., & Mellado, E. (2005). Halophilic archaea and bacteria as a source of extracellular hydrolytic enzymes. In *Adaptation to life at high salt concentrations in Archaea, Bacteria, and Eukarya* (pp. 337-354).
- Wahrmund, J. L., Ronchesel, J. R., Krehbiel, C. R., Goad, C. L., Trost, S. M., & Richards, C. J. (2012). Ruminal acidosis challenge impact on ruminal temperature in feedlot cattle. *Journal of animal science*, 90(8), 2794-2801.
- Wattiaux, M. A., & Reed, J. D. (1995). Fractionation of nitrogen isotopes by mixed ruminal bacteria. *Journal of Animal Science*, 73(1), 257-266.
- Yokoyama, M. T., & Johnson, K. A. (1988). Microbiología del rumen e intestino. *El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición*. Acribia. Zaragoza, España, 137-157.
- Quintero j, Barraza R., Lastra D., Gutierrez C. (2005). Obtención de liquido ruminal por tres diferentes técnicas en vacas lecheras y comparacion del PH ruminal XXIX Congreso Nacional de Buiatria, Puebla, Pue.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Revised 1996 IPCC guidelines for greenhouse gas inventories. Reference manual. Vol.3. [en línea] <http://www.ipcc-nggip.iges.orjp/public/gl/invs6c.html>, Consultado 10 de mayo 2024.

CAPÍTULO II. LECTURAS FÍSICO-QUÍMICAS DIRECTAMENTE DEL RUMEN DEL BOVINO FISTULADO USANDO EL EQUIPO INDUSTRIAL U-50 HORIBA

INTRODUCCIÓN

En la última década, el desarrollo de la tecnología ha impulsado notables cambios en la investigación agropecuaria, la ganadería ha implementado herramientas que ayudan al desarrollo de diferentes investigaciones e innovaciones. Respecto a los estudios en bovinos, el rumen es uno de los órganos más investigados por la variedad microbiana (bacterias, hongos, protozoarios y arqueas) que son las que procesan la digestión fermentativa de los rumiantes y producen ácidos grasos volátiles los cuales son la principal fuente de energía (Mackie *et al.*, 2002 y Kamra, 2005); estas bacterias pueden verse modificadas por las variables de temperatura, pH y potencial óxido reducción (ORP por sus siglas en inglés) pero también pueden verse afectadas por la edad del animal y la alimentación entre otros (Edwards *et al.*, 2008). Para una correcta multiplicación de bacterias y actividad microbiana el pH óptimo ruminal está entre 6.2 a 7.0, este puede variar según la dieta y la porción administrada, mientras que la temperatura se establece en un rango de 39 a 40 °C, para que se lleven a cabo las condiciones normales de fermentación (Church 1974; Calsamiglia y Ferret, 2002). Respecto al potencial oxido reducción en el rumen esta ronda entre los -250 a -450 mV (Yokoyama y Johnson, 1988). En la ganadería actualmente no se cuenta con un equipo de campo que realice mediciones instantáneas respecto a las variables físico-químicas del rumen por lo tanto el objetivo en esta investigación es evaluar la sensibilidad y tiempo de respuesta de la sonda multiparamétrica Horiba en el rumen del bovino.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el rumiante el proceso de fermentación es realizado principalmente en el rumen por los microorganismos (protozoarios, hongos y bacterias) que habitan ahí (Lovett *et al.*, 2006), la importancia del medio físico y químico que los envuelve radica en que se debe de tener el medio apropiado para la sobrevivencia y desarrollo de bacterias ruminales que ayudan a la digestión fermentativa de los bovinos.

JUSTIFICACIÓN

En la industria ganadera no existe un equipo de campo que sea capaz de realizar mediciones simultaneas con resultados instantáneos de las propiedades de pH, ORP y temperatura del rumen, por lo cual se evaluara una sonda industrial multiparamétrica U-50 Horiba.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar si la sensibilidad de los diferentes electrodos de la sonda funciona en el rumen del bovino.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Establecer la hora más adecuada para realizar las lecturas de pH, temperatura y potencial de óxido reducción.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- El equipo U-50 Horiba, tiene la sensibilidad de realizar lecturas directamente del rumen bovino.

HIPÓTESIS ESPECIFICO

- La hora influirá en los resultados de las lecturas de las variables de pH, temperatura y potencial de óxido reducción en el rumen.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la granja experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

MATERIALES

- Se usó una sonda multiparamétrica de análisis de calidad del agua, modelo U-50 (Japón).
- Se utilizó una vaca de la raza jersey de cuatro años de edad, este animal poseía una cánula ruminal de la marca Bar Diamond de 4 in.
- Para el manejo del bovino se usaron lasos de 5 m de largo con bozales.

- Para la limpieza de la cánula se utilizó agua, jabón, cepillos y franelas.

La alimentación proporcionada al animal fue de 3 kg de alfalfa achicalada, 3 kg de avena henificada, 5 kg de silo, 500 g de alimento comercial, agua y sales minerales *ad libitum*, esto proporcionado al día. Se usó el Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (2019).

VARIABLES A EVALUAR

Las variables físico- químicas evaluadas fueron:

1. Temperatura.
2. pH.
3. Potencial de óxido reducción.

MÉTODOS

REALIZACIÓN DE LECTURAS

Se realizó un formato para el registro y recopilación de datos durante 5 d, posteriormente se estableció un horario de medición, la primera lectura se realizó 2 h después de que el animal ingiriera los primeros alimentos del día que fue de 10:00 a 11:00 am, mientras que la segunda se realizó 1 h después de concluir la primera lectura. Para la obtención de datos se inició con la sujeción del animal con la ayuda de un bozal y un laso de plástico, con la cánula cerrada se realizó el lavado del área de la misma, para lo cual se usó agua, jabón, cepillos y franelas, posteriormente se retiró el tapón de la cánula y se introdujo la sonda multiparamétrica a 45 °C al ambiente ruminal y con el brazo del operario se sellaba el orificio de la fistula.

La primera lectura se realizó a los 6 min de la inserción en el rumen, los resultados obtenidos fueron registrados en los formatos asignados, al finalizar la prueba la cánula fue cerrada para su limpieza. Para lectura que se realizó 3 h después de que la vaca fue alimentada se efectuó el mismo procedimiento que en la primera toma de datos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar, se usó el procedimiento GLM de SAS (2017) y la comparación de medias fue con el método de Tukey ($\alpha < 0.05$).

El modelo fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t \quad j=1, 2, 3, 4, 5, \dots, r$$

Donde:

- Y_{ij} = Variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento y j-ésimo repeticiones.
- μ = Media general.
- T_i = Efecto del tratamiento i.
- ε_{ij} = Error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al medir en el rumen la temperatura con el equipo U-50 Horiba 2 h y 3 h después del consumo de alimento no se encontraron diferencias significativas entre estas ($p > 0.05$) (Cuadro 3), sin embargo la temperatura estuvo por debajo de lo recomendado ya que la temperatura ruminal óptima se encuentra de 38.0 a 40.5 °C para que se lleve a cabo la fermentación ruminal (Cobos y Shimada, 2015); mientras que una temperatura ruminal baja indica mortalidad de los microorganismos ruminales (Brod *et al.*, 1982). La literatura menciona que en los rumiantes después de ingerir los alimentos la temperatura aumenta hasta 41°C, lo que se debe al proceso de fermentación que produce calor, lo que no sucedió en esta investigación ya que se sabe que la temperatura del rumen depende de varios factores tales como el tipo de alimento ofrecido, la cantidad, así como del orden de los diferentes alimentos (Cobos y Shimada, 2015; Calsamiglia y Ferret, 2003).

Cuadro 3. Temperatura, pH y ORP a las dos y tres horas después de la alimentación de bovinos fistulados.

Tratamiento	Temperatura °C	pH	ORP mV
T1	26.38	5.30	-171.00
T2	27.49	5.37	-93.00
E.E.M.	0.52	2.99	0.02

T1, mediciones realizadas 2 h después de los primeros alimentos del día en el animal; T2, mediciones realizadas 3 h después de los primeros alimentos del día en el animal; E.E.M, error estándar de la media; pH, concentración de iones Hidrógeno; ORP, potencial óxido reducción.

En la presente investigación se encontró un pH ruminal de 5.3 dos y tres h después de la alimentación ($p>0.05$) (Cuadro 3), en condiciones normales a lo largo del día el pH ruminal se puede encontrar entre 5.5 a 6.7 y se modifica según la cantidad de los ácidos grasos volátiles (AGV) presentes en el rumen, sin embargo el pH ruminal ideal para la actividad y multiplicación de bacterias es de 6.2 a 7.0 ya que en este intervalo se favorece la fermentación del alimento (Calsamiglia y Ferret, 2002) mientras que un pH bajo puede inhibir el crecimiento de la microbiota celulítica y con ello la digestión ruminal de celulosa y hemicelulosa (Annison *et al.*, 2002), el pH en este estudio después del consumo de alimento fue bajo (Cuadro 3), lo que coincide con Cobos y Shimada, (2015) quienes encontraron un pH de 5.2 posterior a la alimentación, lo que se puede deber a los componentes fibrosos del forraje, pero también puede aumentar si las dietas son ricas en carbohidratos estructurales (Calsamiglia y Ferret, 2003).

El ambiente ruminal es anaerobio, lo que indica que se encuentra en condiciones de reducción, respecto a la variable ORP no se encontraron diferencias ($p>0.05$) por efecto de los tiempos transcurridos después del consumo de alimento (Cuadro 3), sin embargo, estos valores no se encontraron dentro del rango normal ya que los valores oscilaron de -250 a -93 mV, lo que se debió que a 45 °C la sonda multiparamétrica no estaba cubierta en su totalidad de líquido ruminal; lo que hace importante a este parámetro es que aún ORP adecuado se llevara a cabo el crecimiento de microorganismos anaerobios (Yokoyama y Johnson, 1988).

CONCLUSIÓN

Se concluye que el equipo Horiba U-50 mide la temperatura, el pH y potencial de óxido reducción en el rumen de vacas canuladas.

Recomendación

Se recomienda seguir realizando investigaciones con diferentes grados de inclinación de la sonda multiparamétrica Horiba U-50.

BIBLIOGRAFÍA

- Annison, EF, Lindsay, DB y Nolan, JV (2002). Digestión y metabolismo. En *Nutrición ovina* (págs. 95-118). Wallingford Reino Unido: CABI Publishing.
- Brod, DL, Bolsen, KK y Brent, BE (1982). Efecto de la temperatura del agua en la temperatura ruminal, digestión y fermentación ruminal en ovinos. *Revista de Ciencia Animal*, 54 (1), 179-182.
- Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2003). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. *XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA)*. Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.
- Cobos Peralta, M., & Shimada Miyasaka, A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. *Nutrición Animal 3ª. ed. Armando Shimada Miyasaka (editor). Trillas*, 67-105.
- Church, D. C. (1974). Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 11-20.
- Colegio de Postgraduados. 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. [https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20\(1\).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA](https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20(1).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA)
- Edwards, J. E., Huws, S. A., Kim, E. J., Lee, M. R. F., Kingston-Smith, A. H., and Scollan, N. D. (2008). Advances in microbial ecosystem concepts and their consequences for ruminant agriculture. *Animal*, 2(5), 653-660.
- Lovett, D. K., Stack, L., Lovell, S., Callan, J., Flynn, B., Hawkins, M., & O'Mara, F. P. (2006). Effect of feeding *Yucca schidigera* extract on performance of lactating dairy cows and ruminal fermentation parameters in steers. *Livestock Science*, 102(1-2), 23-32.
- Mackie, R. I., McSweeney, C. S., and Klieve, A. V. (2002). Microbial ecology of the ovine rumen. *Sheep nutrition*, 71-94.
- SAS Institute, Inc. 2017. Statistical Analysis Software (SAS/ STAT). Version 9.33 Ed. Cary, NC. USA. 528 pp.
- Shimada A. M. 2018. Nutrición animal. Editorial Trillas. México. pp. 93-135.
- Kamra, D. N. (2005). Ecosistema microbiano del rumen. *Ciencia actual*, 124-135.

- Yokohama, M. T., & Johnson, K. A. (1988). Microbiología del rumen e intestino. Pag. 137-158 en: el rumiante, fisiología digestiva y nutrición. CD Church, Ed. Editorial Acribial. *Zaragoza, España*.

CAPÍTULO III. TRES TIEMPOS DE MEDICIÓN DE LECTURAS FÍSICAS Y QUÍMICAS CON LA SONDA HORIBA U-50 EN EL RUMEN DE BOVINOS CANULADOS

INTRODUCCIÓN

El rumen es un ecosistema anaerobio que presenta características físico-químicas muy características y particulares entre las que se encuentra el pH, la temperatura y el potencial de óxido reducción, encargadas del control de microorganismos como lo son protozoos, hongos y bacterias (Botero, 1998). Una variable a medir es el potencial de óxido reducción (ORP, por sus siglas en inglés) ya que indica cuántas reacciones químicas pueden darse en el líquido ruminal cuando está en rangos entre -250 y -450 milivoltios (mV), lo que estimula el crecimiento de microorganismos (Yokoyama y Johnson, 1988). Por otro lado, el pH ruminal tiene un rango de 6.1 a 7.2, el cual es óptimo para el ambiente de microorganismos del rumen (Cobos y Shimada 2015); mientras que Calsanmiglia (1997) menciona que el pH óptimo del rumen oscila entre los 6.2 a 6.8. Para la temperatura los rangos para la supervivencia de los microorganismos del rumen bovino van de 39 a 40 °C (Church, 1974); sin embargo, Yokoyama y Johnson (1988) mencionan que pueden existir rangos más amplios que pueden ir de 38 a 42 °C, en investigaciones más recientes se descubrió que la temperatura ruminal óptima es de 38.0 a 40.5°C (Cobos y Shimada 2015). En esta investigación se pretende realizar una técnica de manipulación de la sonda multiparamétrica que ayude a realizar lecturas en el rumen del bovino y evaluar si el ayuno del animal influye en las lecturas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En años recientes hemos sido testigos del gran avance de nuevas tecnologías implementadas en las investigaciones agropecuarias, sin embargo, aún existen áreas de investigación en el rumen del bovino para que las obtenciones de las variables físico químicas sean fáciles, confiables e instantáneas.

JUSTIFICACIÓN

Por lo tanto, es importante investigar equipos que sean portátiles, pequeños y fáciles de usar que ayuden a obtener las variables físico químicas del rumen con resultados instantáneos y precisos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una técnica que ayude a realizar una buena manipulación de la sonda al momento de ser insertada en el rumen.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Utilizar una manga de plástico que inhiba la entrada de aire al rumen del bovino fistulado cuando la sonda sea insertada.
- Comprobar si el ayuno del animal influye en el pH, potencial óxido reducción, temperatura, total de solidos disueltos y salinidad del rumen.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- La técnica a implementar facilitará la introducción de la sonda al rumen bovino.

HIPÓTESIS ESPECIFICOS

- La manga plástica evitará la entrada de oxígeno al ambiente ruminal del bovino fistulado.
- Durante el ayuno los parámetros de pH, temperatura y potencial óxido reducción, total de solidos disueltos y salinidad serán diferentes comparados con los valores tomados después de la alimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la granja experimental del Colegio de Postgraduados, Campus, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

MATERIALES

- Se usó una sonda multiparamétrica de análisis de calidad del agua, modelo U-50 (Japón).
- Se utilizó una vaca fistulada de la raza jersey, de 4 años de edad, con un peso de 365 kg.
- Para el manejo del bovino se usaron lasos de 5 m de largo con bósaes.
- Para la limpieza de la cánula se utilizó agua, jabón, franelas y cepillos.
- Se usó una manga plástica de 10 cm de largo con un sello circular de 4 in.

Se usó el Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (2019).

LAS VARIABLES FÍSICO- QUÍMICAS EVALUADAS FUERON:

1. Temperatura.
2. pH.
3. Potencial de Óxido Reducción.
4. Total de sólidos disueltos (TDSL, por sus siglas en ingles).
5. Salinidad (SALI, por sus siglas en inglés)

MÉTODOS

Para comenzar el experimento la sonda multiparamétrica se protegió con una manga plástica de 10 cm de largo, es importante mencionar que una vez que la sonda es ingresada al rumen del bovino fistulado esta no puede salir hasta finalizar el muestreo, además ésta se colocara a 90°C en la parte más profunda del rumen ya que es ahí donde se encuentra la mayor cantidad de líquido ruminal el cual es el encargado de cubrir los electrodos de la sonda en su totalidad para su correcta lectura. A continuación, con la ayuda de un bozal y lasos de plástico se procedió a la sujeción y manejo del bovino, una vez sujeta la vaca antes de abrir la cánula se realizó la limpieza de esta con agua, jabón, cepillos y franela, posteriormente se retiró el tapón de la cánula, rápidamente se introdujo la sonda al rumen y con el brazo del operario se obstruyo el orificio de la fistula y así se evitó la entrada de oxígeno. Durante 10 d se realizaron dos lecturas, la primera se realizó antes de que el animal consumiera sus primeros alimentos del día (8:30 am) y la segunda se efectuó 3 h después de haber consumido alimento (11:30 am). a los 3, 6 y 9 min de haber introducido la sonda al rumen.

MODELO ESTADÍSTICO

Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 3, se usó el procedimiento GLM de SAS (2011) y la comparación de medias fue con el método de Tukey ($\alpha < 0.05$).

El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = variable respuesta en la repetición k, $i = 1, 2$
Nivel j de B, nivel i de A $j = 1, 2, 3$
- μ = Media general.
- A_i = Efecto del factor A en la alimentación i.
- B_j = Efecto del factor B al tiempo j.
- $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción AB al nivel i, j.
- ϵ_{ij} = Error aleatorio.

RESULTADOS

El consumo de alimento no influyó ($P > 0.05$) en las variables ($^{\circ}\text{C}$, pH, ORP, TDSL y salinidad) con respecto a las mediciones antes de los primeros alimentos del día (Cuadro 4), sin embargo, cuando estas variables se midieron en diferentes tiempos (3, 6 y 9 min) la temperatura era mayor ($P < 0.05$) en el minuto seis y nueve en relación con el minuto tres, mientras que en la variable ORP hubo una oxidación en el minuto 6 y 9 ya que esta disminuyó, sin embargo, las variables pH, TDSL y salinidad se mantuvieron estables durante los diferentes minutos ($P > 0.05$).

Cuadro 4. Resultados de lecturas realizadas antes y después de ingerir alimentos.

Trat	Temperatura °C	pH	ORP (mV)	TDSL (g)	Salinidad
T1	36.07	6.23	-263.80	20.76	2.12
T2	36.14	6.29	-264.36	20.18	2.09
Tiempo					
3 min	35.59 b	6.20	-248.50 a	20.74	2.17
6 min	36.26 a	6.20	-263.00 ab	20.65	2.11
9 min	36.54 a	6.38	-280.75 b	20.03	2.03

T1, medición antes de los primeros alimentos del día; T2, medición 3 h después de ingerir los alimentos; pH, concentración de iones Hidrógeno; ORP, potencial óxido reducción; TDSL, total de sólidos disueltos.

Letras diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

DISCUSIÓN

La literatura menciona que la temperatura óptima en el rumen del bovino varía entre 38.0 a 40.5 °C (Cobos y Shimada, 2015), sin embargo, en este estudio en el minuto tres la temperatura fue la más baja, mientras, que para el minuto seis y nueve esta aumentó ($P < 0.05$) por lo que el tiempo dentro del rumen es un factor importante a considerar para que esta llegue a la temperatura esperada. Calsamiglia y Ferret (2002) mencionan que el pH óptimo ruminal está entre los 6.2 a 7.0, estos datos coinciden con los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro 4) con el aparato Horiba U-50. Respecto al ORP se sabe que para una buena actividad bacteriana en el rumen este debe estar entre -250 a -450 mV (Cobos y Shimada, 2015), en esta variable la sonda multiparamétrica dio resultados que se encuentran dentro de este rango, sin embargo, es importante mencionar que el tiempo modifica el potencial negativo de oxidación con este aparato. Para el TDSL no se encuentra información con referencia al rumen, pero la sonda multiparamétrica nos da esta variable con resultados sin diferencias ($P > 0.05$) (Cuadro 4) en el ayuno vs alimentación y del minuto tres al nueve. Mientras que en salinidad los resultados (Cuadro 4) se encuentran dentro de los rangos esperados (0.5 a 2.5), esta variable es importante ya que de la correcta salinidad dependerá la supervivencia de bacterias halófitas (De la Haba *et al.*, 2010).

CONCLUSIÓN

Se concluye que se puede utilizar de manera confiable la sonda multiparamétrica para medir en el rumen del bovino las variables de pH, potencial de óxido reducción y salinidad. Respecto a la temperatura 3, 6 y 9 minutos no son suficientes para poder determinar con el aparato Horiba U-50 el valor real de esta variable en el rumen. Hay que seguir investigando la variable de sólidos disueltos totales para determinar si esta puede ser una variable importante a considerar dentro de las características físico-químicas del rumen.

BIBLIOGRAFÍA

- Botero, J.I. 1998. Biotecnología en los microorganismos del rumen. Universidad de Antioquia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Medellín. p. 8, 17, 20.
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. *XIII Curso de Especialización FEDN, Madrid*.
- Calsamiglia, S., y Ferret, A. (2002). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.
- Church, D. C. (1974). Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 11-20.
- Cobos Peralta, M., & Shimada Miyasaka, A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. *Nutrición Animal 3ª. ed. Armando Shimada Miyasaka (editor). Trillas*, 67-105.
- Colegio de Postgraduados. 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. [https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20\(1\).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA](https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20(1).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA)
- De la Haba, R. R., Sánchez-Porro, C., Márquez, M. C., y Ventosa, A. (2011). Taxonomy of halophiles. *Extremophiles handbook*, 1, 255-308.
- SAS Institute, Inc. 2017. Statistical Analysis Software (SAS/ STAT). Version 9.33 Ed. Cary, NC. USA. 528 pp.
- Yokohama, M. T., & Johnson, K. A. (1988). Microbiología del rumen e intestino. Pag. 137-158 en: el rumiante, fisiología digestiva y nutrición. CD Church, Ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

CAPÍTULO IV. USO DE SONDA MULTI-PARAMÉTRICA PARA ESTIMAR PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DIRECTAMENTE DEL RUMEN DE VACAS CANULADAS

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes dependen de la fermentación digestiva como su principal fuente de energía para lo cual deben de mantener las condiciones estables de temperatura, pH, osmolaridad así como un ambiente anaeróbico reducido para el correcto desarrollo de microbios compuestos principalmente de bacterias, protozoarios, hongos y arqueas (Crater *et al.*, 2007; Russell, 2002); estos microorganismos fermentan los sustratos presentes en la dieta del bovino (azúcares, proteínas y lípidos), sin embargo la flora microbiana ruminal se puede ver afectada por la composición de la dieta así como por la frecuencia de alimentación y éstas a su vez pueden afectar las variable físico químicas del rumen, lo que hace importante investigar las condiciones óptimas ruminales, por lo que los estudios se enfocan en el uso de equipos y técnicas que permitan estimar las características físico-químicas del rumen (Patiño *et al.*, 2020). En una investigación se implementó una técnica donde se medía el pH a las 5 y 8 h después de la alimentación del mañana, el líquido ruminal se obtenía con una sonda oro ruminal e inmediatamente se medía esta variable, con un pH-metro portátil, encontraron que si eliminan los primeros 200 ml de líquido ruminal el pH se determina correctamente (Gómez *et al.*, 2003; Quintero, 2005). Dentro de los métodos se encuentra la extracción del líquido ruminal, sin embargo, hay factores que complican la obtención de las muestras, los cuales están relacionados con la naturaleza heterogénea del contenido ruminal y de la fermentación (Corley III *et al.*, 1999). Por lo que se evaluó el equipo U-50 Horiba, para determinar si el consumo de alimento influye en las propiedades físicas y químicas del rumen.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En años recientes hemos sido testigos del gran avance de nuevas tecnologías implementadas en las investigaciones agropecuarias, sin embargo, aún existen áreas de investigación en el rumen del bovino para que las obtenciones de las variables físico químicas sean fáciles, confiables e instantáneas.

JUSTIFICACIÓN

Nos proponemos a investigar si el tiempo y el ayuno del animal interfiere en modificaciones de las diferentes variables químicas y físicas del rumen.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar si las variables físico-químicas del rumen se modifican después de la alimentación.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar si la alimentación de los animales influye en los resultados de las variables de temperatura, pH, potencial de óxido reducción, total de sólidos disueltos, salinidad y turbidez.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- La alimentación de los animales puede influir en las variables físico-químicas.

HIPÓTESIS ESPECIFICA

- Las variables de temperatura, pH, potencial de óxido reducción, total de sólidos disueltos, salinidad y turbidez a medir pueden tener cambios por efecto de la alimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la granja experimental y en el laboratorio de microbiología ruminal y genética microbiana del Colegio de Postgraduados, Campus, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

MATERIALES

- Se usó una sonda multiparamétrica Horiba U -50 (Japón).
- Se utilizaron 5 vacas que tenían cánula ruminal (Cuadro 5).

- Para el manejo de los bovinos se usaron lasos de 5 m de largo con gamarras.
- Para la limpieza de la cánula se utilizó agua, jabón, franelas y cepillos.

Cuadro 5. Información de vacas experimentales.

Raza	Edad (años)	Peso (kg)	Núm. arete
Jersey	4	460	-
Holstein	2	468	191103
Holstein	2	381	191107
Holstein	2	433	191109
Holstein	3	678	394

INSTALACIONES

Los animales estaban en corrales de tubos metálicos de 2 in a una altura de 1.80 m las dimensiones eran de 30 x 5 m, donde se encontraba un comedero lineal de concreto, el bebedero estaba a una altura de 80 cm, con capacidad de 200 L de agua y un techo de lámina galvanizada.

VARIABLES A EVALUAR

Variables físico-químicas evaluadas fueron:

1. Temperatura.
2. pH.
3. Potencial de óxido reducción (ORP, por sus siglas en ingles).
4. Total de sólidos disueltos (TDSL, por sus siglas en ingles).
5. Salinidad (SALI).
6. Conductividad eléctrica (CONE).
7. Turbidez (TZ).

MÉTODOS

Las 4 vacas de la raza Holstein tuvieron un periodo de adaptación de un mes con 8 d y adiestramiento de 30 min por animal, para el control del bovino se usaron lasos y gamarras con destorcedores metálicos, mientras que la vaca de la raza jersey no se le realizó manejo ya que era un animal manso. Cada animal tenía incrustada una cánula

ruminal de la marca Bar Diamond de 4 in de diámetro hechas de material flexible, a estas se les realizó una limpieza en el área ocupada por la misma, esto se realizó con franelas, agua limpia, cepillo y guantes. La alimentación se muestra en el Cuadro 6, esta se ofreció durante la mañana y tarde, mientras que el agua y los minerales eran *ad libitum*.

Cuadro 6. Dieta de los bovinos experimentales.

Alimento	Cantidad (kg)
Silo	40
Avena henificada	10
Concentrado comercial	8

Se usó el Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (2019).

La toma de lecturas tuvo una duración de 10 d, las cuales se efectuaron dos veces al día, la primera medición se realizó antes de que los animales consumieran alimento (8:00 am), la segunda toma se realizó 3 h después de que ingirieron el primer alimento del día. Para poder obtener las lecturas se inició con la sujeción del animal para la seguridad del personal, una vez sujeto el bovino se procedió a la limpieza de la cánula, posteriormente se retiró el tapón de la cánula para poder insertar la sonda del equipo Horiba a 90 °C en el rumen del bovino, y con el brazo del operario se sellaba el orificio de la fistula, era introducida completamente al rumen durante 12 min para posteriormente tomar lectura (Figura 5), finalmente la sonda se retiraba del rumen, se introducía en agua y se limpiaba con una franela para repetir el procedimiento con las siguiente vaca.



Figura 5. Sonda cubierta por liquido ruminal en su totalidad.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar, donde cada vaca era una repetición, se usó el procedimiento GLM de SAS (2017) y la comparación de medias fue con el método de Tukey ($\alpha < 0.05$).

Modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t \quad j= 1, 2, 3, 4, 5, \dots, r$$

Donde:

- Y_{ij} = Variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento y j-ésimo repeticiones.
- μ = Media general.
- T_i = Efecto del tratamiento i.
- ε_{ij} = Error aleatorio.

RESULTADOS

En el Cuadro 7 se muestra que la temperatura y ORP en el rumen no se modificaron por efecto de la alimentación ($P > 0.05$), es importante mencionar la temperatura no se encontraba dentro del óptimo (38.0 a 40.5) (Cobos y Shimada, 2015; Wahmund *et al.*, 2012).

Para las variables de TDSL y SALI se encontró que estas aumentaron por el consumo de alimento, ($P<0.05$), mientras que, para la variable de pH, CONE y TZ estas disminuyeron ($P<0.05$) después de la alimentación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Medias de las variables físico químicas del rumen.

	Tempe ratura °C	ORP (mV)	pH	TDSL	CONE	SALI	TZ
T1	37.52	-257.27	6.55a	18.13b	33.30a	1.81b	8.64 ^a
T2	37.65	-261.56	6.18b	20.41a	29.48b	2.07 ^a	6.75b
E.E.M.	0.05	2.32	0.03	0.21	2.88	0.02	0.17

T1, mediciones realizadas antes ingerir los primeros alimentos; T2, mediciones realizadas 3 h después de ingerir los alimentos; pH, Concentración de iones Hidrógeno, ORP, potencial óxido reducción; TDSL, total de sólidos disueltos; CONE, conductividad eléctrica; SALI, Salinidad; TZ, turbidez.

DISCUSIÓN

La temperatura óptima del rumen es importante para el crecimiento de la microbiota ruminal, en la presente investigación ésta osciló de 37.5° a 37.6°C, lo que quiere decir que 12 min aún no son suficientes para que el Horiba U-50 determine la temperatura real en el rumen; Cobos - Shimada (2015) y Ley *et al.* (2006) mencionan que la temperatura ruminal va de 38 a 40 °C, la cual está determinada por el proceso de fermentación bacteriana y la actividad metabólica del animal. Respecto al pH este disminuyó ($P<0.05$) a las 3 h de haber consumido el alimento sin embargo se encontraba dentro del pH ideal para la multiplicación de microorganismos (6.2 a 7.0), de los factores del medio ruminal este es el más susceptible a cambios, estos niveles pueden variar según el tipo de alimentación, cantidad y frecuencia de alimentación (Ferret, 2002; Cerrato *et al.*, 2005).

Para el ORP el consumo de alimento no influyó en los resultados ($P>0.05$) (Cuadro 7), un potencial negativo de oxidación entre -250 y -450 mV, indica baja concentración de oxígeno en el rumen, lo que estimula la actividad microbiana (Cobos y Shimada, 2015). Para el TDSL se sabe que es la cantidad de partículas que se pueden encontrar en cualquier medio acuoso, la información de esta variable en el rumen no existe, sin embargo, en la presente investigación se encontró que a las 3 h después del consumo de alimento las partículas aumentaron ($P<0.05$) por la llegada del bolo al rumen.

Para la supervivencia de algunas bacterias en el rumen como lo son las halófitas moderadas la SALI se debe de encontrar en un rango de 1.7 a 2.5, en este estudio el consumo de alimento hizo que esta aumentara de 1.8 a 2.07 ($P<0.05$), sin embargo, los valores se encontraron dentro de los parámetros aceptados para el desarrollo de las bacterias ruminales. Respecto a CONE en bovinos no hay información al respecto, sin embargo, el equipo Horiba U-50 obtuvo resultados mayores durante el ayuno ($P<0.05$). En cuanto a TZ también no se encuentra información al respecto, sin embargo, en este experimento se puede observar que cuando los bovinos se encontraban en ayuno la TZ en el líquido ruminal era de 8.64 y una vez que ingirieron los alimentos esta disminuyó a 6.75 ($P<0.05$) lo que se puede deber a que después de la alimentación los animales consumieron agua.

CONCLUSIÓN

El equipo Horiba a través de la sonda multiparamétrica mide la temperatura en el rumen, aunque hasta el minuto 12 no es el valor esperado en el ambiente ruminal, pero mide de forma confiable la concentración de iones hidrogeno, potencial oxido reducción y salinidad total. Respecto al total de solidos disueltos, conductividad eléctrica y turbidez hay que seguir realizando investigaciones que ayuden a determinar la importancia de estas variables en el rumen.

BIBLIOGRAFÍA

- Corley III, R. N., Murphy, M. R., Lucena, J., & Panno, S. V. (1999). A device for obtaining time-integrated samples of ruminal fluid. *Journal of animal science*, 77(9), 2540-2544.
- Cobos Peralta, M., & Shimada Miyasaka, A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. *Nutrición Animal 3ª. ed. Armando Shimada Miyasaka (editor). Trillas*, 67-105.
- Colegio de Postgraduados. 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados.
[https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20\(1\).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA](https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20(1).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA)
- Crater, A. R., Barboza, P. S, y Forster, R. J. (2007). Regulación de la fermentación ruminal durante las fluctuaciones estacionales en la ingesta de alimentos de los bueyes almizcleros. *Bioquímica y fisiología comparadas Parte A: Fisiología molecular e integrativa* , 146 (2), 233-241.
- HORIBA Process and Enviromental. (Revisado el 07 de julio de 2021).
<https://www.ambientalia.com.co/analisis-de-agua-off-line/sonda-multiparametrica-analisis-agua-horiba-u-50/>
- Russell, J. B. (2002). *Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition*. Department of Microbiology, Cornell University.
- SAS Institute, Inc. 2017. Statistical Analysis Software (SAS/ STAT). Version 9.33 Ed. Cary, NC. USA. 528 pp.

ANEXOS

Cuadro 8. Comparación de lecturas de temperatura con tres equipos diferentes.

	Min						$\tilde{x}$	D.E.	C.V.
	0	3	6	9	12	15			
Inc °C	38.00	38.70	38.90	38.90	38.90	38.90	38.72	0.36	0.93
Term.	35.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.17	0.41	1.19
Horb.	34.07	33.98	34.10	34.00	34.00	34.02	34.05	0.05	0.15

inc. °C, temperatura de incubadora; Term, temperatura del termómetro de mercurio ; Horb, temperatura del U-50 Horiba; $\tilde{x}$, media de las lecturas obtenidas; D.E., desviación estándar; C.V., coeficiente de variación.

Cuadro 9. Lecturas de la temperatura del ambiente de la incubadora.

Incubadora 1						
	0	3	6	9	12	15
Inc. °C	38.00	39.00	38.00	38.00	38.00	38.00
Term.	33.00	33.00	34.00	34.00	34.00	34.00

Inc. °C, temperatura de incubadora; Term., temperatura del termómetro de mercurio.

Cuadro 10. Comprobación de resultados de la variable de temperatura usando otra incubadora.

Lecturas de incubadora 2								
	0	3	6	9	12	15	$\tilde{x}$	D.E. C.V.
Inc.°C	38.90	38.90	38.90	38.90	38.90	38.90	38.90	0.00 0.00
Term.	33.65	33.50	34.00	34.00	34.00	34.00	34.60	0.42 1.24
Horb.	33.70	33.89	34.00	34.00	34.00	34.00	34.75	1.52 4.39

Inc. °C, temperatura de incubadora; Term, temperatura del termómetro de mercurio., Horb, temperatura del Horiba; $\tilde{x}$, media; D.E. desviación estándar, C.V. coeficiente de variación.

En los Cuadros 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos durante seis días de muestreo en el cual están separados por la distinta hora de medición.

Cuadro 11. Muestras obtenidas 2 h después de ingerir los primeros alimentos del día.

Muestra núm. 1			
	°C	pH	ORP
1	35.11	4.18	-55
2	31.4	6.62	-109
3	32.48	6.9	-150
4	22.03	5.11	245
5	17.91	5.9	155
6	19.4	3.1	312
Ȳ	26.39	5.30	66.33
D.E.	7.46	1.47	196.16
C.V.	28.26	27.71	295.72

°C, Temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción, Ȳ, media, D.E. desviación estándar, C.V. coeficiente de variación.

Cuadro 12. Medición directa del rumen del bovino, realizada 1 h después de ingerir los alimentos.

Muestra núm. 2			
	°C	pH	ORP
1	33.32	4.37	-6
2	29.9	5.25	-12
3	32.87	5.13	-101
4	22.05	5.49	224
5	23.53	5.58	137
6	23.31	6.32	-78
X	27.50	5.36	27.33
D.E.	5.13	0.64	127.22
C.V.	18.65	11.90	465.45

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción, X, media, D.E. desviación estándar, C.V. coeficiente de variación.

Resultados del experimento 3

Cuadro 13. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulado, por un tiempo de tres minutos.

Lecturas realizadas a los 3 min						
	°C	pH	ORP	CONE	TSDL	SALI
1	35.96	5.9	-288	40.3	24.6	2.56
2	36.55	6.02	-247	35	21.3	2.19
3	35.91	5.77	-255	36.7	22.4	2.31
4	36.04	6.49	-252	34	20.7	2.12
5	36.06	6.24	-245	32.2	19.7	2
6	35.93	6.21	-250	34.1	20.8	2.13
7	34.19	5.77	-236	35.7	21.8	2.24
8	34.24	6.43	-249	31	19	1.93
9	35.89	6.47	-236	34.3	20.9	2.15
10	36.04	6.42	-258	35	21.3	2.2
X	35.68	6.17	-251.60	34.83	21.25	2.18
D.E.	0.80	0.29	14.68	2.52	1.53	0.17
C.V.	2.23	4.66	5.83	7.25	7.18	7.89

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E., desviación estándar; C.V., coeficiente de variación; TDSL, total de solidos disueltos; CONE, conductividad eléctrica; SALI, salinidad.

Cuadro14. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulado, por un tiempo de seis minutos.

Lecturas realizadas a los 6 min						
	°C	pH	ORP	CONE	TDSL	SALI
1	36.55	5.68	-213	36.1	22	2.26
2	36.92	6.07	-263	34.5	21	2.16
3	35.91	5.77	-255	36.7	22.4	2.31
4	36.67	6.52	-274	34.1	20.8	2.13
5	36.2	6.1	-256	31.1	19	1.93
6	36.07	6.24	-277	33.1	20.2	2.06
7	34.29	6.2	-260	35.7	21.8	2.24
8	35.69	6.46	-275	30.8	18.8	1.9
9	36.89	6.34	-246	34.8	21.2	2.18
10	36.57	6.56	-277	35.8	21.9	2.25
X	36.18	6.19	-259.60	34.27	20.91	2.14
D.E.	0.78	0.30	19.59	2.04	1.24	0.14
C.V.	2.16	4.82	7.54	5.95	5.94	6.52

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E., desviación estándar; C.V., coeficiente de variación. TDSL, total de solidos disueltos., CONE, conductividad eléctrica; SALI, salinidad.

Cuadro 15. Primera lectura realizada con la sonda directamente en el rumen del bovino fistulada, por un tiempo de nueve minutos.

Lecturas realizadas a los 9 min						
	°C	pH	ORP	CONE	TDSL	SALI
1	36.21	6.01	-259	29.7	20.1	1.89
2	37.33	6.51	-292	33.7	20.6	2.1
3	36.44	6.37	-298	33.5	20.5	2.09
4	36.61	6.47	-280	34.1	20.8	2.13
5	36.54	6.07	-270	30.5	18.6	1.88
6	36.04	6.34	-280	30.9	18.9	1.91
7	34.46	6.18	-280	33.4	20.4	2.08
8	36.1	6.46	-285	30.9	18.8	1.91
9	37.19	6.46	-266	34.5	21.1	2.16
10	36.62	6.66	-292	35.2	21.5	2.21
X	36.35	6.35	-280.20	32.64	20.13	2.04
D.E.	0.79	0.21	12.35	1.94	1.02	0.13
C.V.	2.17	3.25	-4.41	5.94	5.06	6.14

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno, ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E. desviación estándar; C.V., coeficiente de variación; TDSL, total de solidos disueltos; CONE, conductividad eléctrica; SALI, salinidad.

Cuadro 16. Segunda lectura realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, por un tiempo de tres minutos.

Lecturas realizadas a los 3 min							
	°C	pH	ORP .	CONE	TDSL	SALI	TZ
1	34.91	5.24	-139	37.4	22.8	2.34	11.6
2	35.91	5.8	-240	35.1	21.4	2.2	10
3	33.42	7.2	-307	31.5	19.2	1.92	9.2
4	35.35	6.22	-259	33.9	20.7	2.12	9.8
5	37.43	5.87	-253	41.1	25.1	2.61	12.7
6	35.73	6.08	-229	30.9	18.9	1.92	8.1
7	35.23	6.33	-253	33.4	20.4	2.08	9.6
8	35.6	6.4	-271	39.2	13.9	2.49	12.4
9	35.92	6.5	-247	35	21.4	2.19	10.1
10	35.65	6.68	-256	30.4	18.5	1.87	7.9
X	35.52	6.23	-245.40	34.79	20.23	2.17	10.14
D.E.	1.00	0.53	42.80	3.56	2.97	0.25	1.64
C.v	2.80	8.58	-17.44	10.24	14.66	11.39	16.20

°C Temperatura, pH, Concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E. desviación estándar, C.V. Coeficiente de variación; TDSL, total de solidos disueltos; M, Muestra; TZ, turbidez; CONE, conductividad eléctrica.

Cuadro 17 Lecturas realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, 3 h. después de finalizar la primera por un tiempo de seis minutos.

Lecturas realizadas a los 6 min de inserción de la sonda							
	°C	pH	ORP	CONE	TDSL	SALI	TZ
1	36.55	5.68	-213	36.1	22	2.26	10.4
2	35.91	6.46	-278	35.3	21.5	2.21	10.1
3	35.97	5.66	-289	31.3	19.1	1.94	8.2
4	36.35	6.51	-290	32.6	19.9	2.03	8.7
5	37.88	5.96	-268	40	24.4	2.54	11.9
6	35.04	6.24	-240	29.5	18.3	1.82	7.7
7	36.02	6.22	-260	32.5	19.8	2.01	8.1
8	36.1	6.46	-285	30.9	18.8	1.91	8
9	37.49	6.47	-269	35	21.4	2.19	9.5
10	36.21	6.56	-272	30.7	18.7	1.9	7.8
M	36.18	6.22	-266.40	33.39	20.39	2.08	9.04
D.E.	0.65	0.34	23.99	3.19	1.91	0.22	1.39
C.v	1.78	5.49	-9.00	9.56	9.38	10.49	15.42

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E. desviación estándar, C.V. coeficiente de variación; TDSL, total de solidos disueltos; M, Muestra; TZ, turbidez; CONE, conductividad eléctrica.

Cuadro 18. Lecturas realizadas con la sonda, directamente del rumen del bovino fistulado, 3 h. después de finalizar la primera por un tiempo de nueve minutos.

Lecturas realizadas a los 9 min de inserción de la sonda							
M/variable	°C	pH	ORP	CONE	DSL T	SALI	TZ
1	37.52	6.09	-265	29.1	18	1.78	6.5
2	36.44	6.55	-295	34.5	21.1	2.16	9.4
3	36.48	6.57	-295	29.9	18.5	1.89	73
4	36.22	6.41	-291	32.9	20	2.04	8.9
5	37.51	6.06	-277	38	23.2	2.4	11.1
6	35.35	6.27	-249	28.1	17.4	1.72	6.8
7	36.41	6.23	-269	31.1	19	1.93	8
8	36.85	6.92	-311	36.7	22.4	2.31	10.6
9	38.22	6.49	-281	35	21.3	2.19	9.2
10	36.34	6.58	-280	29.8	18.5	1.83	7.3
M	36.73	6.42	-281.30	32.51	19.94	2.03	15.08
D.E.	0.82	0.26	17.74	3.42	1.98	0.23	20.41
C.v	2.23	4.08	-6.31	10.52	9.91	11.47	135.33

°C, temperatura; pH, concentración de iones hidrógeno; ORP, potencial de óxido reducción; X, media; D.E. desviación estándar; C.V., coeficiente de variación; TDSL, total de solidos disueltos; M, muestra; TZ, turbidez; CONE, conductividad eléctrica.