

BALANCE DE FÓSFORO EN VAQUERÍAS DE PUERTO RICO

Por

Carlos N. Torres Meléndez

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
en

INDUSTRIA PECUARIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2005

Autorizado por:

Teodoro M. Ruiz López, Ph.D.
Presidente del Comité Graduado

Fecha

Abner A. Rodríguez Carías, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

David Sotomayor Ramírez, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Gustavo A. Martínez Rodríguez, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Rafael F. Dávila López, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre Acevedo, Ph.D.
Director del Departamento de Industria Pecuaria

Fecha

ABSTRACT

On-farm phosphorus (P) balances are of importance in order to identify critical control points in P feeding and management. Phosphorus mass balances were constructed in twelve pasture-based dairy farms of Puerto Rico, using production and management data in an input-output model. The farms had a range in animal density between 1.23 to 27.50 AU/ha with a mean of 7.53 AU/ha. The range in dietary P concentrations was between 5.02 to 7.24 g P/kg DMI, with a mean of 6.16 g P/kg. The dietary P concentrations fed were not associated with higher milk yields ($P>0.05$) and were 87% higher than the level recommended by the NRC for the mean production levels of 18.4 kg milk/day. Manure P ranged from 9.0 to 18.5 g/kg (dry matter feces) with a mean of 13.2 g/kg. Total P excreted by dairy cows ranged from 23.9 to 36.9 kg P/cow/year with a mean of 30.3 kg P/cow/year. Manure P and excretion levels were 55% higher than those excretion levels needed to account for maintenance and milk production. High stocking rates were associated with the large aerial P surplus ($R^2=0.87$). Soil test P (Olsen) levels showed that 87% of the paddocks ($n=38$) that received manure application exceed suggested agronomic critical P levels of 35 mg/kg. The on-farm mass balance showed P surpluses that ranged from 15.0 to 472.9 kg/ha/year with a mean of 156.2 kg/ha/year. Reducing the P concentration in the diet and in fertilizer and the implementation of best management practices will have the greatest and immediate impact on reducing the excess P in dairy farms of Puerto Rico that will optimize P use efficiency for eventual water-quality maintenance.

RESUMEN

Es de suma importancia determinar el balance de P a nivel de finca para poder identificar áreas críticas de manejo en la alimentación animal. El balance de P fue construido en doce vaquerías de Puerto Rico, utilizando información de manejo y producción animal en un modelo de entradas y salidas de P. Las fincas estudiadas tienen un rango de carga animal entre 1.23 a 27.50 UA/ha con un promedio de 7.53 UA/ha. El rango entre la concentración de P en la dieta no estuvo asociado con alta producción de leche ($P>0.05$) y fue 87% más alto que los niveles recomendados por NRC para los niveles promedios de 18.4 kg/leche/día. La concentración de P en las heces fecales fue de un rango de 9.0 a 18.5 g/kg (heces fecales secas) con un promedio de 13.2 g/kg. El P total excretado por las vacas lecheras se encuentra en un rango de 23.9 a 36.9 kg P/vaca/año con un promedio de 30.3 kg P/vaca/año. Los niveles de excreción de P fueron 55% más altos que los niveles de excreción necesarios para el mantenimiento y producción de leche. La alta carga animal está asociado con un balance de P positivo ($R^2=0.87$). Los niveles de P en el suelo (Olsen) demuestran que 87% de los predios ($n=38$) que recibieron aplicaciones de estiércol exceden el nivel crítico de P (35 mg/kg). El balance de P en la finca demostró un exceso de 15.0 a 472.9 kg/ha/año con un promedio de 156.2 kg/ha/año. Reducir la concentración de P en la dieta y fertilizantes y la implementación de mejores prácticas de manejo (BMP's), son las prácticas que tienen mayor impacto en la reducción de los balances positivos de P en la finca.

DEDICATORIA

A mis padres queridos, **Abraham Torres y Luz M. Meléndez**, por siempre estar a mi lado mostrándome su apoyo, dedicación y gran amor. Siempre me llevaron por el buen camino, con su buen ejemplo y sus enseñanzas. Los grandes valores que me han enseñado a través de cada paso de mi vida, ha sido muy importante y determinante para ver realidad mis metas y sueños.

A mis hermanos, **Carlos Javier y Mariluz Torres Meléndez** y mí ahijado **Angel Javier Torres Dávila**. Gracias por su apoyo, ayuda y sobre todo su gran amor. Gracias por compartir con migo los momentos felices y los no tan felices de mi vida.

A mis abuelos, **Heliodoro Meléndez y Emilia Rosado**. Su gran ayuda y amor han permitido muchas cosas bonitas en nuestra familia. Gracias a ustedes pude continuar los estudios y lograr muchas cosas como los viajes educativos y deportivos. Su apoyo ha sido determinante en los logros y metas alcanzados.

A una familia muy especial, **Familia Alvarado Alvarado**, la cual me considera como un hijo, hermano y amigo. Gracias por el apoyo que siempre me han brindado y gran confianza para con mi persona.

A todos ustedes dedico este trabajo que con mucho esfuerzo y dedicación ha sido realizado. El apoyo, ayuda y sobre todo su gran muestra de cariño y amor es invaluable. Cada uno de ustedes forma parte de todos mis logros y metas alcanzados.

Muchas Gracias y que Dios los Bendiga Hoy, Mañana y Siempre

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y paciencia para poder realizar este trabajo. Además, por poner en mí camino a las personas más importantes en mi vida, mis padres, hermanos, abuelos y amigos los cuales me acompañaron y acompañaran siempre en las buenas y en las no tan buenas.

Un especial agradecimiento a mis profesores mentores:

Dr. Teodoro Ruiz. El trabajo realizado por usted ha sido muy importante y mejor aun en la revisión del proyecto final. Gracias por su confianza, atención, sugerencias, apoyo y dedicación. Gracias por la oportunidad de ser su estudiante graduado.

Dr. David Sotomayor y Dr. Gustavo Martínez. Gracias por la oportunidad que me han brindado de ser parte de su equipo de trabajo. Sus ideas, dedicación y ayuda para los estudiantes son el vehículo principal para que sus proyectos sean exitosos. Gracias por su apoyo, confianza y consideración.

Dr. Abner Rodríguez. Gracias por la oportunidad de trabajar con usted durante el período de estudiante subgraduado. Su apoyo y enseñanza han sido determinante en mi desarrollo como buen estudiante.

Especial agradecimiento al Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS). Gracias por su atención, ayuda, cooperación e interés por la realización de este proyecto y por la aportación de fondos para el mismo. Su ayuda y disposición para brindarnos información, transportación y la selección de los ganaderos ha sido muy importante en el desarrollo del proyecto. También quiero agradecer al NRCS oficina de San Sebastián y el Agro. Carlos Morganti Yulfo por permitirme ser parte de su equipo

voluntario “Earth Team”. Los conocimientos adquiridos durante este tiempo fueron muy importantes en mi crecimiento como profesional.

Gracias a mi amigo Edwin Más. Sus consejos y sugerencias, así como su interés por la realización del proyecto facilitaron el desarrollo de éste. Además agradezco su cooperación y confianza para realizar el proyecto de BMP's en las vaquerías.

Un especial agradecimiento a todos los ganaderos que me permitieron realizar este proyecto en sus fincas, en especial al Sr. José Noriega y Agro. Javier Rivera Marín. Muchas gracias por su atención y por estar siempre dispuestos y en cooperación con nuestro grupo de trabajo. Su disposición e interesada labor me facilitó muchas cosas en la realización de éste. Su gran ayuda y disposición para con nosotros es invaluable.

Gracias a José L. Guzmán y Onilda Santana, técnicos del laboratorio de la EEA de Rio Piedras. Gracias por su ayuda en la realización de los análisis de agua y suelo. Gracias por su atención, dedicación y su tiempo para compartir sus conocimientos.

Muchas gracias al Sr. Ulises Chardón, técnico del laboratorio de la Estación Federal TARS. Gracias por dedicarme de su tiempo y enseñarme los procedimientos de laboratorio. Además le agradezco por prestarme parte del equipo de laboratorio utilizado.

Gracias a mis compañeros de estudio por su compañía, consejos y ayuda en la recolección y análisis de datos. Su ayuda fue muy importante y determinante para agilizar los procesos en el manejo de datos.

A mis entrenadores, quienes marcaron mi vida con actitudes positivas y buen ejemplo, fueron un vehículo para que sea exitoso a nivel personal y profesional:

Wilfredo Maisonave, mi entrenador y motivador. Su actitud positiva, motivación, y confianza impactaron mi vida y me ayudaron a ser una mejor persona y profesional.

Nilsa Paris, mi entrenadora, sus consejos y confianza fueron pieza clave en los momentos difíciles.

Jaime Montañéz, amigo y entrenador. Gracias por su confianza y dedicación hasta llevarme a ser todo un campeón.

A todos los que de alguna manera u otra aportaron un granito de arena para realizar este proyecto

GRACIAS

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT.....	ii
RESUMEN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
APENDICES	xii
ABREVIATURAS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	4
2.0. Revisión de Literatura.....	5
2.1. Impacto ambiental del fósforo en la agricultura.....	5
2.1.1. Regulaciones ambientales.....	8
2.2. Función del fósforo y su metabolismo.....	11
2.3. Digestión y absorción del fósforo en los rumiantes.....	12
2.3.1. Digestión de ácido fítico de los alimentos.....	12
2.3.2. Fitasa ruminal	13
2.3.3. Absorción del fósforo en el intestino.	16
2.4. Alimentación y excreción de fósforo en los rumiantes	18
2.4.1. Excreción del fósforo por los rumiantes	19
2.4.2. Efecto de la deficiencia de fósforo en la alimentación animal	25
2.5. Requerimientos nutricionales de fósforo para vacas lecheras.....	26
2.6. Balance de fósforo.....	33
2.7. Aplicación de estiércol y fertilizantes al suelo	36
2.8. Fósforo en el suelo	38
3.0. Manejo del fósforo en dos vaquerías de Puerto Rico.....	40
3.1. Introducción	40
3.2. Materiales y métodos	41
3.2.1. Selección y descripción de las fincas modelos.....	41
3.2.2. Animales y estimados de la finca	42
3.2.3. Muestras de alimentos	42
3.2.4. Metodología para el muestreo de suelos	43
3.2.5. Metodología para el muestreo de la charca de oxidación	44
3.2.6. Mediciones para la estimación de biomasa, disponibilidad y consumo de pasto.	45
3.2.7. Análisis de muestras experimentales.....	47

3.2.8. Balance de fósforo	49
3.3. Resultados y discusión	52
3.3.1. Información general de las fincas modelos	52
3.3.2. Carga Animal	53
3.3.3. Biomasa y disponibilidad de pastos.....	54
3.3.4. Consumo de pasto	58
3.3.5. Composición química de los pasto.....	59
3.3.6. Alimentación del ganado	64
3.3.7. Balance de fósforo en los animales de la finca.....	70
3.3.8. Concentración de fósforo en las heces fecales	74
3.3.9. Balance de fósforo a nivel de finca	77
3.3.10. Flujo del fósforo en las fincas.....	79
3.3.11. Fósforo en el suelo de las fincas modelos	82
3.4. CONCLUSIONES.....	88
3.5. IMPLICACIONES	90
4.0. Balance de P en las vaquerías de Puerto Rico	92
4.1. Introducción	92
4.2. Materiales y Métodos.....	93
4.2.1. Selección de las fincas.	93
4.2.2. Colección de muestras	94
4.2.3. Análisis de laboratorio.....	95
4.2.4. Análisis estadísticos.....	96
4.3. Resultados y discusión	97
4.3.1. Información general de las fincas encuestadas	97
4.3.3. Biomasa y disponibilidad de pasto	99
4.3.4. Relación entre carga animal, la biomasa y disponibilidad de pasto	100
4.3.5. Alimentación de fósforo en la dieta	103
4.3.6. Relación entre el P en la dieta y la producción de leche.....	105
4.3.7. Alimentación con P y la excreción fecal.....	106
4.3.8. Concentración de fósforo en las heces fecales	108
4.3.9. Balance de P en animales	110
4.3.10. Balance de fósforo a nivel de finca.	111
4.3.11. Relación entre la carga animal y el balance de P en los animales y a nivel de la finca.	112
4.3.12. Fósforo en el suelo.....	113
4.3.13. Relación entre la carga animal y la concentración de P en el suelo	115
4.4. CONCLUSIONES.....	117
4.5. IMPLICACIONES GENERALES.....	119
REFERENCIAS.....	121
APENDICES	134

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Recomendación de alimentación de fósforo basado en la publicación de NRC (1989) y las recomendaciones desarrolladas en Alemania ((Kirchgeßner et al., 1993; citado por Satter y Wu, 1999). Ejemplo para una vaca Holstein de 600kg. ¹	28
Cuadro 2.2. Concentración de P requerida para vacas Holstein variando el consumo de materia seca y producción de leche (NRC, 2001)*	31
Cuadro 2.3. Requerimiento P (g/d) determinado por diferentes científicos para vacas lecheras no preñadas de 600 kg consumiendo 20 kg de materia seca produciendo 30 kg de leche con 3.5% grasa. ¹	32
Cuadro 2.4. Requerimiento de P para animales en crecimiento.	32
Cuadro 3.1. Información general de las fincas modelos.....	52
Cuadro 3.2. Contenido promedio de proteína y fibra detergente neutro (FDN) en los pastos de gramíneas tropicales utilizados en las fincas modelos ²	60
Cuadro 3.3. Composición química de alimentos utilizados en la finca A ¹	61
Cuadro 3.4. Composición química de alimentos utilizados en la finca B.	62
Cuadro 3.5. Estimado de la composición química de la dieta consumida por las vacas lecheras en las dos fincas modelos ¹	64
Cuadro 3.6. Consumo estimado de alimentos para los hatos lecheros modelo A y B.	67
Cuadro 3.7. Balance de P en vacas lecheras en las vaquerías modelos.....	71
Cuadro 3.8. Balance de P de los animales no lactantes en las fincas modelos.....	73
Cuadro 3.9. Concentración de P (g/kg) en las heces fecales en las fincas modelos ^{1,2} .75	75
Cuadro 3.10. Balance total de P anual en la finca para las dos vaquerías modelos. 78	78
Cuadro 3.11. Concentración de P en la charca de oxidación finca A. Valores expresados en promedios obtenidos de tres muestreos realizados.	80
Cuadro 3.12. Contenido de P en la charca de oxidación de la finca B.....	81
Cuadro 3.13. Prueba de suelo para predios finca A. Predios de vacas lecheras y horras. Prueba realizada por el método Olsen (mg/kg)	84
Cuadro 4.1. Información general de las doce fincas estudiadas.....	98
Cuadro 4.2. Concentración promedio de P en los alimentos utilizados en las 12 vaquerías estudiadas.....	103

Cuadro 4.3. Estimados de excreción de P y balance de P en las 12 fincas estudiadas.	111
---	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Flujo del fósforo en los establecimientos lecheros	33
Figura 3.1. Estimados de biomasa y disponibilidad de pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) utilizado diferentes épocas del año en la Finca A.	55
Figura 3.2. Estimados de producción de biomasa y disponibilidad de pastos en diferentes épocas del año en predios de vacas bajas productoras en la Finca B.	56
Figura 3.3. Estimados de producción de biomasa y disponibilidad de pastos en diferentes épocas del año en predios de vacas altas productoras en la Finca B.	57
Figura 3.4. Análisis de P en el suelo en la finca B.	86
Figura 4.1. Distribución de los pueblos donde se encuentran las vaquerías seleccionadas.....	93
Figura 4.2. Relación entre la carga animal y la producción de la biomasa en el pasto	101
Figura 4.3. Relación entre la carga animal y la disponibilidad de pasto	101
Figura 4.4. Comparación de los requisitos nutricionales de P establecidos por (NRC, 1989 y 2001) con los valores reportados en la literatura para vaquerías comerciales de EE.UU. (Satter et al., 2002b) y el rango de concentración de P encontrados en las 12 vaquerías estudiadas.	104
Figura 4.5. Relación entre la concentración de P en la dieta y la producción de leche en las 12 vaquerías estudiadas	106
Figura 4.6. Relación entre consumo de P y la excreción estimada de P en las 12 vaquerías estudiadas.....	107
Figura 4.7. Relación entre la concentración de P en la dieta (g/kg) y la excreción estimada de P (g/vaca/día).....	108
Figura 4.8. Relación entre la concentración de P en las heces fecales (P total (♦) y P disuelto (▲) y la concentración de P en la dieta.	109
Figura 4.9. Relación entre la carga animal y la excreción de P en las fincas estudiadas.....	112
Figura 4.10. Relación de la carga animal y el balance de P a nivel de finca en las 12 fincas encuestadas.	113

Figura 4.11. Distribución de P en el suelo en las 12 vaquerías estudiadas y clasificadas en las categorías mediana, alta, muy alta y extremadamente alta en susceptibilidad de pérdida de P (Sotomayor et al., 2004)..... 115

Figura 4.12. Relación entre la carga animal y concentraciones de P en el suelo. .. 116

APENDICES

Apéndice 1.1. Cuestionario..... 134

Apéndice 1.2. Análisis de P en el suelo de la finca B¹ 139

Apéndice 1.3. Análisis de P en el suelo de 10 vaquerías utilizadas en el estudio de balance de P en Puerto Rico..... 140

ABREVIATURAS

Fósforo	P
Nitrógeno	N
Carbono	C
Calcio	Ca
Proteína Cruda	PC
Fibra detergente neutro	FDN
Fibra detergente ácido	FDA
Materia seca	MS
Alimento concentrado alto en fibra “Bulky”	AAF
Carga animal	CA
Unidad Animal	UA
Hectáreas	Ha

1. INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico, la industria lechera ha sido la principal empresa agrícola por las pasadas cuatro décadas. En las últimas dos décadas la industria ha sufrido una gran presión sobre los sistemas actuales de producción debido al aumento en la población, disminución de los terrenos agrícolas y la demanda por productos lácteos. Esta situación ha generado la modificación de los sistemas de producción a unos más intensos y técnicos (Lanyon y Thompson, 1996). Mientras tanto, los productores, para mantener sus empresas económicamente viables han tratado de ajustarse a estos cambios seleccionando animales con alto potencial genético y/o aumentando el número de animales en la finca (Lanyon, 1992). Para cubrir los altos requerimientos nutricionales de las vacas, los ganaderos han recurrido a la administración de un sistema alimenticio más intenso (Morse et al., 1994). Esta evolución de la empresa pecuaria ha causado una gran preocupación sobre el posible impacto de la industria sobre el medio ambiente.

En Estados Unidos y Europa se ha señalado a los sistemas de producción animal como la mayor fuente de contaminación de aguas superficiales, ríos y lagos (Wang et al., 1999; Tamminga, 1996; Klausner, 1995). La reducción de los terrenos agrícolas para la producción animal y la reducción de la producción de alimento han causado gran dependencia en el uso de alimentos concentrados y suplementos para la alimentación animal. Además se ha propiciado la utilización intensiva de fertilizantes inorgánicos para la producción de cultivos.

La sobre utilización de los alimentos concentrados y fertilizantes ha generado un desbalance de nutrientes en las fincas pecuarias, incrementando sus perdidas a través de las heces fecales (Knowlton et al., 2001; Wu et al., 2000; Lanyon 1992). Los nutrientes con mayor potencial para un impacto negativo al medio ambiente son el nitrógeno (N) y el fósforo (P).

La aplicación del estiércol de los animales como fuente de nutrimento a los cultivos es una manera recomendada de reciclar de los nutrientes. Este reciclado, implementado correctamente, disminuye las perdidas de los nutrientes al agua y la atmósfera. Por el contrario, el mal manejo del estiércol generado en las vaquerías puede generar un problema ambiental mayor. La aplicación de los residuos orgánicos de la finca en exceso de los requisitos de extracción de P por los cultivos ha ocasionado una sobrecarga de nutrientes en el suelo (Combs y Peters, 2000; Bundy, 1998). En Puerto Rico se han realizado varios estudios que han confirmado esta tendencia (Martínez et al., 2001). El P en el suelo se mueve con la escorrentía, contribuyendo a la eutroficación de los cuerpos de agua.

Mientras en muchas regiones del mundo, donde se practica la producción animal intensiva se ha comenzado a monitorear el potencial de contaminación de las fincas, en otras se han propuesto estrategias de manejo nutricional para evitar las perdidas de nutrientes a los cuerpos de agua y disminuir su potencial de contaminación. El desarrollo de estrategias nutricionales permite facilitar el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos por la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, en inglés) y mejorar el manejo de nutrientes en los hatos lecheros (Spears et al. 2003; Powers y Van Horn, 2001; Beede y Davidson, 1999).

La industria lechera en Puerto Rico tiene un reto muy importante por delante; mantener la producción lechera en vías de un desarrollo urbano acelerado. La presión ejercida por el desarrollo urbano y la competencia por terrenos dificulta el manejo de residuos y el control de los nutrientes en las vaquerías. Estudios realizados en años recientes en Puerto Rico han demostrado concentraciones altas de P en los terrenos agrícolas (Martínez et al., 2001), cuencas hidrográficas (Ocasio et al., 2003) y ríos (Sotomayor et al., 2001). Además, se desarrolló un presupuesto de P en las vaquerías demostrando una acumulación excesiva de P en las vaquerías de P.R. (Sotomayor et al., 2003). El presupuesto de P es un balance entre las entradas de P en la finca a través del alimento y fertilizantes y la salida del P mediante la leche, animales y excrementos. Por consiguiente, este trabajo pretende establecer un balance de P a nivel de finca mediante el estudio intensivo de vaquerías representativas en Puerto Rico y establecer el potencial de contaminación bajo el sistema de alimentación actual. El análisis permite estimar el balance de nutrientes, en particular el P en las vaquerías e identificar áreas críticas de manejo las cuales pudieran ser modificadas para reducir el impacto ambiental que tiene sobre los recursos naturales la contaminación por los residuos animales.

1.1. OBJETIVOS

- ◆ Estimar un balance o presupuesto de fósforo a nivel de finca en las vaquerías de Puerto Rico.
- ◆ Evaluar las prácticas de manejo alimenticio y los desperdicios de los animales y su impacto en el balance de P total en las vaquerías de Puerto Rico.
- ◆ Ofrecer estrategias y recomendaciones que permitan a los ganaderos establecer un balance de P y un plan de manejo de nutrientes conforme a las regulaciones ambientales.

2.0. Revisión de Literatura

2.1. Impacto ambiental del fósforo en la agricultura

La función del P en los sistemas biológicos es una de las más conocidas y estudiadas. A través de los años, muchos investigadores han demostrado gran interés en el estudio del impacto ambiental del P en los cuerpos de agua (Merrington et al., 2002; Lanyon, 1994). El P llega a las fincas a través del alimento y los fertilizantes comerciales. Aproximadamente el 30% del P en el alimento es utilizado para la síntesis de la leche y la carne y el 70% es perdido en el estiércol (Guyton et al., 2002).

El estiércol generado y aplicado correctamente en las fincas pecuarias es una fuente de nutrimento valioso, mejorando la estructura del suelo, aumentando la cobertura vegetal, reduciendo la escorrentía y por ende el potencial de erosión del suelo (Sharpley, 1996). En un esfuerzo por reciclar los nutrientes, disminuir el uso de fertilizantes y cumplir con los reglamentos ambientales los agricultores han adoptado la práctica de aplicar el estiércol a los cultivos y pastos. Sin embargo, a pesar de su potencial como fuente de nutrimento orgánico la aplicación de estiércol en exceso causa una sobrecarga de nutrientes en el suelo, en especial del P. La alta producción de estiércol en áreas de alta densidad animal, el alto costo de implementar las Mejores Prácticas de Manejo (BMP's, en inglés), favorecen la disposición de los residuos más que su utilización como fuente de nutrimentos (Sharpley, 1996). La continua aplicación de P a niveles que sobrepasan los requisitos nutricionales de las plantas puede causar su acumulación en los suelos, de esta manera aumentando su potencial para daño ambiental sin variar su valor agronómico (Sharpley et al., 1994).

El P acumulado en el suelo eventualmente llega a los cuerpos de agua a través de la escorrentía aumentando la productividad biológica de las aguas superficiales. El nitrógeno (N) y el carbono (C) también, son esenciales para el crecimiento de la vida acuática y en algunas regiones el N es identificado como el elemento ambientalmente más crítico (Van Horn et al., 1996). Sin embargo; se ha prestado más atención al P debido a la dificultad de controlar el intercambio del N y C entre la atmósfera y el agua y la fijación de N atmosférico por algunas algas-verde azules. Por lo tanto, en la mayoría de los casos el P es el elemento más limitante para la vida acuática y su control es importante para reducir la eutroficación acelerada de los cuerpos de agua (Tunney et al., 1997).

La eutroficación es una acumulación de residuos orgánicos ocurrida en los cuerpos de agua que acelera el crecimiento de algas, malezas acuáticas y la disminución del oxígeno disponible causado por la descomposición y senescencia vegetal. Estos problemas disminuyen el valor de los cuerpos de agua para la recreación, la pesca y para el agua potable (Powell et al., 2002b; Graentz y Nair, 1995; Sharpley et al., 1994). También, contribuye a un crecimiento masivo de cianobacterias (Kotak et al., 1993) y del dinoflagelado *Pfiesteria piscicida* (Sharpley y Gburek, 1998) en el agua. La muerte y descomposición de las cianobacterias producen neurotoxinas que al ser consumidas pueden causar la muerte a los animales y serios problemas a los seres humanos (Martin y Cooke., 1994). El crecimiento acelerado de algas en el agua cuando ocurre en gran escala, contribuye a la muerte de peces, al mal sabor del agua potable (Kotak et al., 1994) y la formación de tri-halo metano durante el tratamiento con cloro del agua potable (Palsmtrom et al., 1988).

La producción animal es uno de las mayores fuentes de contaminación de P a los suelos y cuerpos de agua. Smith y Alexander (2000) estiman que la contribución de P por parte de la producción animal varía desde 7 a 48% en la mayoría de las cuencas hidrográficas. Morse et al. (1993) estimaron que el 43% del P que entra a los cuerpos de agua en el estado de Florida es atribuido a la agricultura. De igual manera, el 34 y 49% del P que entra a la Bahía de Chesapeak en el estado de Virginia se atribuye a fuentes dispersas y escorrentía agrícola respectivamente (Chesapeake Bay Program, 1995; Sharpley, 2000). De acuerdo al inventario nacional (EE.UU.) de calidad de agua en 1998 el 45% del área de lagos y el 60% de las millas de ríos y quebradas contaminados lo estaban por fuentes agrícolas (US-EPA, 2000).

En Puerto Rico al igual que en muchas regiones de EE.UU. y Europa la mayor fuente de ingreso agrícola proviene de la producción animal, en especial la industria lechera. Esta ha sido identificada como una fuente de contaminación potencial con P en los cuerpos de agua. Ocasio et al., (2003) evaluaron la contribución de fuentes dispersas de contaminación con P en la cuenca del Río Grande de Arecibo en Puerto Rico. Los resultados de este estudio indicaron valores de P total mayores de 0.1 mg P/L (nivel sugerido para indicar contaminación en ríos por la Junta de Calidad Ambiental, (JCA)) en sub-cuencas con alta presencia de fincas de producción animal. En la prensa se ha señalado a las fincas de producción lechera como las principales causantes de la contaminación.

2.1.1. Regulaciones ambientales

En la década de los años 60, la protección del medio ambiente llegó a ser un tema de mucho interés a través de los EE.UU. (Nordstedt, 1988). Estos años marcaron el comienzo de la creación de varias agencias reguladoras ambientales a nivel del gobierno federal, estatal y municipal. Desde entonces, estas agencias reguladoras han impulsado el manejo adecuado de los nutrientes en las industrias y empresas pecuarias para prevenir la contaminación ambiental. Las mismas han impulsado investigaciones y programas de extensión relacionados con el manejo de residuos y el balance de nutrientes en las fincas para desarrollar los sistemas de recursos agrícolas, mantener la producción, la calidad ambiental y las comunidades agrícolas.

En 1965, se decretó el acta de Calidad de Agua (Water Quality Act). Esta requirió que todos los estados y territorios desarrollasen estándares de calidad de agua para proteger los cuerpos de agua. Esta fue la primera ley federal de calidad de agua. Posteriormente, en 1972, fue aprobada la Ley de Aguas Limpias (Clean Water Act) (P.L. 92-500, 1972). El objetivo de ésta ley era el de mejorar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la nación. La EPA está autorizada para reforzar esta ley y estudiar los contaminantes de los cuerpos de agua. La EPA clasifica las fuentes de contaminación como fuentes dispersas o fuentes puntuales. Fuentes puntuales son fuentes de contaminación cuyo origen se pueden identificar. Por ejemplo la contaminación de grandes industrias y operaciones pecuarias que disponen los contaminantes directamente a un cuerpo de agua ya sea por tuberías de irrigación o por los animales directamente en el agua. Fuentes dispersa de contaminación son aquellas

que provienen de áreas extensas y no de un solo lugar en particular. Estas incluyen la escorrentía urbana, agricultura, construcción y manejo forestal.

Algunos de los programas desarrollados bajo EPA incluyen el Plan de Carga Máxima Diaria Permitida (Total Maximum Daily Load, TMDL, en inglés), el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES, en inglés), Operación de Alimentación Animal (Animal Feeding Operation, AFO, en inglés), Operación de Alimentación Concentrada (Concentrated Animal Feeding Operation, CAFO, en inglés) y el Plan Comprensivo de Manejo de Nutrientes (Comprehensive Nutrient Management Plan, CNMP, en inglés). A nivel local muchas funciones de la EPA están delegadas en la Junta de Calidad Ambiental (JCA).

El programa TMDL (sección 303d de la ley de aguas limpias) se desarrolló para ayudar a mejorar los cuerpos de agua que están contaminados. El TMDL identifica las diversas fuentes de contaminación de un contaminante en particular en una cuenca y distribuye entre ellas la carga máxima de ese contaminante que el sistema puede recibir sin mostrar deterioro en su integridad. En el plan se incluyen una descripción del flujo del agua, usos de terreno cercanos a los cuerpos del agua, clima y fuentes de contaminación. Además, incluye detalles específicos del tipo de contaminantes y los cambios en el manejo necesarios para mantener los cuerpos de agua libres de contaminación.

El programa “NPDES” regula los contaminantes de fuentes dispersas a los cuerpos de agua en los EE.UU. Las Operaciones de Alimentación Animal (AFO) son operaciones agrícolas donde los animales son mantenidos y criados en situaciones de confinamiento. Generalmente el manejo de los AFO envuelve animales, alimento,

estiércol, animales muertos y la operación de producción en un área confinada. La mayor parte del alimento es importado y la utilización de forraje mediante pastoreo es reducida. El estiércol de los animales es propenso a entrar a los cuerpos de agua por escorrentía debido a lluvia excesiva. La definición de CAFOs grandes aplica a operaciones de alimentación animal que tienen más de 1,000 unidades de animales o animales en confinamiento por más de 45 días, aquellas que apliquen grandes cantidades de estiércol a los pastos. Se consideran CAFOs medianos a aquellas fincas que tienen 500 unidades de animales (US-EPA, 2002).

El “CNMP” es un plan de conservación específico para empresas pecuarias. El propósito del plan es el manejo adecuado de nutrientes para balancear los mismos (importación y exportación) con los requerimientos nutricionales de las plantas. El plan está desarrollado para cumplir con las guías técnicas establecidas por el USDA-NRCS, (USDA-NRCS, 2000). Como parte del plan de manejo de nutrientes los agricultores tienen que mantener récords de alimentación animal, manejo de desperdicios, fertilizantes, rendimiento de los cultivos y análisis de suelo y el estiércol (USDA- NRCS, 2001; Van Horn et al., 1998a).

La Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA) regula, fiscaliza e impone sanciones a todas las actividades que contaminen el ambiente. Administra más de 10 reglamentos relacionados con la calidad del ambiente y los recursos naturales, entre los cuales está el reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación (CES) y el reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica. La JCA es responsable de hacer cumplir las reglas y disposiciones de leyes, reglamentos y programas federales relacionados con el ambiente.

Muchos estados como Maryland, Virginia y Delaware han implementado leyes ambientales para regular la disposición de estiércol de animales. Estas leyes establecen que para suelos con alto contenido de P, alto potencial de escorrentía y de erosión, se utilicen los planes de manejo de estiércol en base a P (Dou et al., 2003), con el propósito de cumplir con las regulaciones establecidas por la EPA.

2.2. Función del fósforo y su metabolismo

El P es un elemento esencial para el crecimiento de plantas y animales y tiene más funciones conocidas en el organismo que cualquier otro elemento (NRC, 2001). Su utilización ha sido reconocida para mantener la salud y mejorar la eficiencia en la producción, tanto animal como vegetal. El 80% del P en los animales forma parte de los huesos y dientes (NRC, 2001). El 20% restante es componente estructural de los ácidos nucleicos, los cuales controlan la diferenciación, el crecimiento y la multiplicación celular (Harris et al., 1990). Mediante la combinación con otros elementos funciona para mantener la presión celular osmótica y el balance ácido-base en la sangre y otros fluidos como la saliva. Adema, forma parte de la transferencia de energía en las células mediante la conversión de fosfatos contenidos en los nucleótidos, ADP y ATP (siendo esta función la más importante en las plantas) (Havlin et al., 1999) y también participa en todos los eventos biológicos. Otras funciones del P es, su acción en la estructura de la pared celular (fosfolípidos), transporte y metabolismo de ácidos grasos y la formación de proteínas y amino ácido (fosfoproteínas) así como absorción y utilización de azúcares fosfatadas (Lynch y Caffrey, 1997). El P también es requerido por los microorganismos ruminales para el funcionamiento de los sistemas enzimáticos microbianos (coenzimas), la digestión de la celulosa (Durand y Komisarczuk, 1988), la producción de ácidos grasos volátiles y

la síntesis de proteínas microbianas (Breves y Schröder, 1991). El contenido de P en el rumen en su mayoría proviene del alimento y de la saliva del animal.

La saliva en condiciones normales de alimentación, es rica en fosfatos (600-800 mg P/litro). Su presencia permite la neutralización de los componentes acidificantes del rumen, es indispensable para asegurar la función celulolítica y la producción de biomasa bacteriana. También constituye el 80% del P endógeno reciclado a través del sistema gastrointestinal (Care, 1994). El P en la saliva es inorgánico mayormente ortofosfatos (H_2PO_4^- ó HPO_4^{2-}) y altamente disponible a las bacterias del rumen (Reinhardt et al., 1988).

Las bacterias, protozoarios, hongos y levaduras contenidas en el rumen necesitan P para mantener su metabolismo y crecimiento. Para la degradación óptima de la pared celular de las plantas y síntesis de proteína se necesitan por lo menos 5 g P/kg de materia orgánica fermentada (Durand y Komisarczuk, 1988). En el rumen, omaso y abomaso ocurre absorción de P, sin embargo esta es muy poca comparado con la absorción en el intestino delgado (Care, 1994; Breves y Schröder, 1991) donde ocurre la mayor parte de la digestión de este mineral.

2.3. Digestión y absorción del fósforo en los rumiantes

2.3.1. Digestión de ácido fítico de los alimentos

El P en los cereales y forrajes no está completamente disponible para la absorción y utilización por los animales no-rumiantes (Guyton et al., 2002). Cerca del 70% del P en los granos está unido orgánicamente como ácido fítico, mientras que en el forraje esta forma del mineral es bajo (Clark et al., 1986). El ácido fítico consiste de una molécula de

azúcar, myo-inositol ciclo hexafosfato, covalentemente unida a 6 grupos de ácido fosfórico. Este P no está totalmente disponible a animales no-rumiantes porque estos no poseen la enzima fitasa necesaria para utilizar el P presente en el ácido fítico (Pointillard, 1991). Los rumiantes son capaces de digerir el P debido a que los microorganismos del rumen producen la enzima fitasa y actúan en la molécula del ácido fítico contenido en los granos consumidos por los animales. Esta acción ocurre en el complejo retículo rumen del animal.

2.3.2. Fitasa ruminal

Las fitasas exógenas han sido encontradas en microorganismos ruminales como *Selenomonas ruminantium*, *Megasphaera elsdenii*, *Prevotella ruminicola*, *Mitsuokella multiacidus*, *Treponema* spp., *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* spp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* spp. (Yanke et al., 1998). *Schwanniomyces castellii*, es una cepa de levadura, capaz de hidrolizar el 90 a 95% del P fítico en el salvado de trigo y harina de semilla de algodón (Sequeilha et al., 1993). Estas enzimas son capaces de hidrolizar el ácido fítico presente en los vegetales y granos produciendo ortofosfato inorgánico y myo-inositol libre, haciendo el P disponible para la absorción en el intestino delgado.

En un estudio “in vitro” realizado por Morse et al. (1992a) se determinó la tasa de degradabilidad del fitato en varios alimentos. Aproximadamente, el 90% del P en forma de trigo, harina de soya y granos subproductos de destilería, el ácido fítico desapareció luego de 6 a 8 horas de incubación. El P-fítico de la semilla de algodón desapareció luego de 12 a 24 horas en incubación.

Otros estudios (Morse et al., 1992b, Clark et al., 1986) han indicado que la hidrólisis del fitato en las vacas lecheras es muy eficiente. Trece vacas de la raza Holstein

consumiendo una dieta proveyendo 38.3 y 42.6 g/día de P-fítico hidrolizaron el 98% de éste a P inorgánico (Clark et al., 1986), basado en análisis realizados a muestras de granos, ensilaje y heces. Morse et al. (1992a), ofrecieron dietas conteniendo 3.8 g P/kg como fitato (69% del P total en la dieta) y utilizando cromo como marcador. Basado en consumo y excreción de P-fítico reportaron que el 99% del ácido fítico fue hidrolizado “in vivo” en las vacas lecheras. Sin embargo, valores inferiores a los reportados anteriormente para la hidrólisis del fitato han sido reportados en animales jóvenes. Duskova et al. (2001) midieron concentraciones detectables de P-fítico de heces en becerros de 1, 6 y 13 semanas de edad. Los becerros de 1 a 6 semanas consumieron aproximadamente 0.83 kg/día de alimento concentrado “calf starter” y 4.1 L/día de leche hasta ser destetados a las 6 semanas de edad. Los becerros de 13 semanas consumieron aproximadamente 6.05 kg/día de granos. En este estudio se observó que el ácido fítico es degradado en el rumen, pero se encontró que el fitato no es hidrolizado completamente en los becerros. Esto puede deberse a que el rumen de los becerros no está bien desarrollado. Por lo tanto, no tienen suficientes bacterias en el rumen capaces de hidrolizar el P-fítico.

La actividad fitásica en el rumen ha sido documentada (Godoy y Meschy, 2002; Godoy y Meschy, 2001), pero entender completamente su modo de acción requiere que se continúe la investigación sobre este tema. Godoy y Meschy (2001) estudiaron la actividad fitásica de los microorganismos del rumen en cabras de la raza Alpina. Las cabras consumieron altos niveles de MS con dietas de forrajes y concentrados. Los resultados demostraron un aumento en la actividad fitásica a las 2 y 4 horas de fermentación en dietas altas y bajas en P-fítico cuando se añadió un amortiguador orgánico (fitato de sodio de maíz) comparado con un amortiguador inorgánico (fosfato de

monosodio) en un sistema semi-continuo de fermentación (RUSITEC). Sin embargo, determinaron una baja en la actividad de la enzima al extender el tiempo de incubación a 4 horas. En un estudio similar Godoy y Meschy (2002), concluyeron que la actividad fitásica aumentaba con aumentos en el fitato de la dieta. Sin embargo, reportaron que la actividad fitásica disminuía mientras aumentaba el P inorgánico liberado de las moléculas del ácido fítico. Esta disminución puede ocurrir debido al efecto de la inhibición por la saturación del P libre sobre la actividad de la enzima según lo reportado por Raun et al. (1956).

En un estudio de digestión de P realizado por Clark et al. (1986) se examinó el efecto de diferentes cantidades y fuentes de calcio (Ca) en la utilización del P fítico por vacas lecheras de la raza Holstein. Las dietas fueron 50% granos de maíz y 50% de ensilaje de maíz y suplementadas con ingredientes con altas concentraciones de Ca en forma de: aragonita, calcita y albacar para proveer 0.6 y 0.9% de calcio en la dieta. El promedio del P en este estudio fue de 6.3 g P/kg MS consumida con 3.34 g P/kg que proviene del P-fítico. Basado en la excreción fecal del fitato, la digestibilidad aparente fue estimada cerca del 98% sin tener ningún efecto la cantidad y la fuente de Ca añadida. Khorasani et al. (1997) estudiaron la digestión del P en el intestino cuando se alimentó 8 vacas lecheras con dietas de alfalfa, cebada y avena. Los resultados indicaron que la digestión del P estuvo en un rango de entre 71 a 85% y no fue afectada por los tratamientos. Estos trabajos han demostrado que el P contenido en los alimentos esta disponible para el animal en el caso de los rumiantes. Sin embargo, solo una parte del P-fítico esta disponible para la absorción por los animales no-rumiantes. Por lo tanto, la práctica de suplementar P para compensar por el P-fítico en las dietas para rumiantes

como margen de seguridad, promueve un aumento de P en las heces fecales y no un aumento en el desempeño animal.

2.3.3. Absorción del fósforo en el intestino.

La absorción del P en la vaca lechera es afectada por varios factores (NRC, 2001). Esta ocurre en el intestino delgado (duodeno y yeyuno) (Care, 1994) mediante dos mecanismos: transporte activo influenciado por la vitamina D (Horst, 1986) y la difusión pasiva. La difusión pasiva ocurre cuando se consume una alta concentración de P (Wesserman, 1981). La cantidad total de P absorbido está relacionado con la cantidad de P consumido, relación Ca y P, fuente de alimento, edad del animal, pH intestinal, enfermedades y parásitos, ambiente y niveles de otros minerales como magnesio, aluminio y potasio.

El transporte activo ocurre principalmente cuando se consumen dietas bajas o deficientes en P. Este proceso es influenciado por la forma activa de la vitamina D (Care, 1994, Horst, 1986). La forma activa de la vitamina D entra al torrente sanguíneo y es convertido en 1,25-dihydroxyvitamina D ($1,25-(OH)_2D$) por las enzimas localizadas en el microsoma y el mitocondria en el hígado (Horst et al., 1983). Cuando el P es bajo en la sangre se activa el $1,25-(OH)_2D$, el cual causa un aumento en la eficiencia de la absorción del P en el intestino (Care, 1994; Horst, 1986). La conversión de la vitamina D en $1,25-(OH)_2D$ también puede ocurrir con la ayuda de la enzima 1α -hydroxylasa en el hígado cuando el P en el plasma sanguíneo es bajo (Reinhardt et al., 1988; Engstrom et al., 1987)

Las hormonas juegan un papel muy importante en la regulación de la absorción de P en los rumiantes (Harris et al., 1990). Se ha reportado que la hormona paratiroides inhibe y activa el transporte de P al movilizar el Ca y P del hueso. También regula la

secreción de P en la saliva (Wesserman, 1981). A concentraciones bajas de P en la sangre la hormona paratiroides se une a la membrana baso lateral receptora e inicia la fosfolipasa C, la cual favorece a movilizar el P del hueso. Cuando ocurren altas concentraciones de P en la sangre la hormona se une a la membrana y activa la enzima adenilato ciclasa, esta estimula la deposición de sales y minerales al hueso. La fosfolipasa C y adenilato ciclasa activan la fosforilación de los transportadores de sodio (Na^+) y fosfato inorgánico.

El segundo proceso de absorción de P en el intestino delgado es la difusión pasiva (Care, 1994). Este proceso ocurre cuando hay suficiente P disponible para la absorción en el lumen del intestino delgado. Este proceso no envuelve la utilización de hormonas ni vitaminas como ocurre durante el transporte activo. Reinhardt et al. (1998) y Horts (1986) reportaron que el proceso pasivo de P ocurre cuando los rumiantes consumen cantidades recomendadas o más altas de sus requisitos dietéticos o cuando la cantidad del P en el plasma sanguíneo es muy alto.

La absorción de P en el intestino es afectada por el pH del intestino y el rumen. El pH en el intestino de los rumiantes es más bajo que el pH en no-rumiantes. Challa y Braithwaite (1988) reportaron que un pH bajo en el duodeno de los rumiantes previene la precipitación del P, por lo cual se mantiene más disponible para la absorción.

Martz et al. (1999) estudiaron la absorción del Ca y P en vacas lactantes alimentadas con heno de alfalfa y ensilaje de maíz y alfalfa. Las vacas consumieron el 90 y 60% del Ca y P de los requerimientos nutricionales, respectivamente. Los autores reportaron una absorción verdadera del P de 64.4 y 74% en las dietas con alfalfa y ensilaje respectivamente. Estos mismos autores estimaron la absorción verdadera del P en el ensilaje de maíz en vacas horras preñadas; entre 85 a 95%. El NRC (2001) sugiere que

el coeficiente de absorción del P en el forraje y concentrado es 64 y 70% respectivamente, con una disponibilidad de P de fuentes inorgánicas en un rango entre 30 a 90%. Brintrup et al. (1993) reportaron un coeficiente de absorción aparente de 67% cuando se alimentó vacas con dietas conteniendo 4.1 g P/kg. Morse et al. (1992a) reportaron una absorción aparente de P de 74% cuando alimentaron vacas consumiendo dietas con concentraciones de 3.0 g P/kg, 4.1 g P/kg y 5.6 g P/kg. Wu et al. (2000) reportaron datos similares (absorción de 79%) cuando se alimentaron dietas con una concentración de P de 4.1 g P/kg. Challa y Braithwaite (1988) reportaron una absorción verdadera de P de 75% como fosfato dicalcico cuando alimentaron vacas lactantes. Beede y Davidson (1999) proponen que utilizar un coeficiente de absorción de 0.70 (ó 70%) es apropiado para calcular los requerimientos de P en la dieta para rumiantes.

2.4. Alimentación y excreción de fósforo en los rumiantes

La alimentación de los hatos lecheros ha experimentado un cambio drástico en los últimos años a consecuencia del aumento en el número de animales y la disminución de terrenos disponibles para proveer el alimento necesario en la finca (Lanyon, 1992). Lanyon y Thompson (1996) señalan que el mayor problema ambiental que enfrenta la producción pecuaria es la separación entre la producción animal y la producción de alimento para el mismo. Esta situación ha generado un cambio drástico en las prácticas de alimentación del ganado, propiciando un sistema intensivo a base de alimentos concentrados y manejos de animales en confinamiento y semi confinamiento.

Estudios realizados en EE.UU. demostraron que la mayor fuente de nutrientes en los hatos lecheros proviene de alimento concentrado (Powell et al., 2002a). Erb (2002) reportó que más del 50% del P en los alimentos proviene de suplementos protéicos como:

semilla de algodón y soya, un 17% de fuente mineral (fosfato di cálcico) y 32% de otros suplementos o alimentos. Lanyon (1992) menciona que la cantidad de alimento concentrado consumido por vaca en los últimos 30 años en los estados de California, Florida y Pennsylvania ha aumentado un 398, 294 y 250 por ciento respectivamente. En un informe realizado por el gobierno de Puerto Rico en 1997 se reportó un aumento en el uso de alimento concentrado por vaquería de unos 1,539 quintales comparado con lo consumido en el año 1993 (Departamento de Agricultura de P.R. 1999). Ruiz et al. (2001) realizaron un estudio donde se evaluó la relación de la carga animal y el uso de alimento concentrado con el porcentaje de grasa láctea y la producción de leche en los hatos lecheros de Puerto Rico. Los datos del estudio evidenciaron un consumo excesivo de alimento concentrado para el nivel de producción de leche alcanzado.

El aumento a través de los años en el uso de los alimentos concentrados ha coincidido con un aumento en el consumo de materia seca y la cantidad de nutrientes excretados en las vaquerías. Morse et al. (1994) indicaron que asumiendo funciones digestivas similares, la producción de heces fecales aumenta con aumentos en consumo de alimento. Los aumentos en el consumo de alimento, aumentan la tasa de pasaje de nutrientes por el sistema digestivo, resultando en la disminución de la digestibilidad de la materia orgánica y eventual aumentos en la producción de heces fecales (Morse et al., 1994).

2.4.1. Excreción del fósforo por los rumiantes

Estudios recientes sobre la alimentación con P en las vaquerías indican que los ganaderos sobrealimentan con P sus hatos lecheros (Shaver y Howard, 1995, Sink et al., 2000). Ha quedado demostrado que la alimentación con P en exceso de los

requerimientos nutricionales de los animales aumenta la excreción de P en las heces y orina (Ebeling et al., 2002; Wu et al., 2000; Morse et al., 1992b; Tamminga, 1992) pero no aumenta el consumo de alimento, la cantidad de leche producida ni mejora la reproducción de la vaca (Lopez et al., 2004; Wu et al., 2001; Valk y Sebek, 1999).

Morse et al. (1992b) estudiaron el efecto de la alimentación con tres diferentes concentraciones de P en la excreción de P en las heces, orina y su secreción en la leche. Para este estudio utilizaron 12 vacas de la raza Holstein las cuales se alimentaron con dietas conteniendo 3.0, 4.1 y 5.6 g P/kg de materia seca consumida, por 13 semanas. Las vacas que consumieron 82 g P/día (4.1 g P/kg) excretaron 49.6 y 0.8 g P/día en las heces y orina respectivamente, mientras que 21.9 g P/día fue secretado en la leche. La reducción en el consumo de P a 60 g/día (3.0 g P/kg) tuvo como consecuencia una disminución de 26% de consumo de P y una disminución de 22% de la excreción de P en las heces y un 16.6% en la excreción total. Vacas alimentadas con 112 g P/día (5.6 g P/kg) aumentaron el consumo de P en 36.6%. La excreción de P en las heces aumentó 48.6%, en parte como consecuencia de falta de respuesta en la producción de leche. Los investigadores concluyeron que por cada gramo adicional de P consumido, la excreción de P en las heces aumenta por 0.88 g/día. Cuando se alimenta la dieta baja en P por cada disminución de un gramo en el consumo de P la excreción de P en las heces disminuye 0.55 g/día. Los autores concluyeron que las vacas excretaron el 88.2% del P total consumido, del cual 68.6% fue en las heces, 30% esta contenido en la leche y menos de 1.0% del P forma parte de la orina, concluyendo que la mayor ruta de excreción fue en las heces fecales.

Brintrup et al. (1993), estudiaron el efecto de dos niveles de consumo de P (68 y 60 g/día) correspondientes a dietas con concentraciones de 3.9 y 3.3 g P/kg de MS consumida, en el desempeño y la excreción fecal de P en vacas lecheras. Se utilizaron 52 vacas lecheras con pesos promedios de 633 kg (68 g P/día) y 645kg (60 g P/día) por 104 semanas. No se encontraron diferencias en el consumo de materia seca (12.25 kg/día), producción de leche (25 kg/día), contenido de proteína en la leche (3.29%) y la concentración de P en la leche (0.90 g/kg) entre los dos grupos de vacas. Sin embargo, se observaron diferencias en la cantidad de P excretado en las heces, promediando 46 vs 37g/día para los grupos de vacas consumiendo la dieta alta y baja en P, respectivamente. Los autores concluyeron que la concentración de P para vacas que producen 7,500 kg de leche por año no debe exceder de los 60 g P/día ó 3.3 g P/kg de MS consumida.

Brintrup et al. (1993) en un segundo ensayo alimentaron vacas lecheras con 86 g P/vaca/día (grupo 1) ó 73 g/vaca/día (grupo 2). El aumento en el consumo de P total resultó en un aumento significativo en la excreción de P de 43 a 55 g P/vaca/día. Sin embargo, no resultó en una diferencia en la secreción de P en la leche la cual fue 29 g/día para el grupo 1 y 30 g/día para el grupo 2. Deitert y Pfeffer (1993), también reportaron que la reducción de P en la dieta no afecta la concentración de P en la leche.

Valk y Sebek (1999) estudiaron el efecto de varias concentraciones de P en las dietas en vacas lecheras altas productoras. Se utilizaron 24 vacas promediando alrededor de 8,000 a 9,000 kg/leche por lactación. Seis vacas recibieron 100%, 9 vacas 80% y 9 vacas 67% de la recomendación total diaria de P resultando en dietas con 3.3, 2.8 y 2.4 g P/kg de MS respectivamente. Las dietas fueron evaluadas por aproximadamente 21 meses. Para los animales que consumieron 2.4 g P/kg no se observó una disminución en

el consumo de materia seca en la primera lactación. Sin embargo, reportaron una disminución en la producción de leche al final de la primera lactación. En la siguiente lactación se redujo el consumo de MS al igual que la producción de leche. No se reportó efecto en consumo de materia seca ni en rendimiento de leche con las dietas de 2.8 y 3.3 g P/día. Los autores determinaron que las dietas con 2.8 g P/kg no fue lo suficientemente baja para causar efectos negativos en consumo de materia seca y producción de leche. Ellos llegaron a la conclusión que 3.0 g P/kg es una concentración adecuada para alimentar vacas lecheras produciendo 9,000 kg de leche por lactación sin que afecte negativamente el consumo de alimento o la producción de leche. Estos datos están de acuerdo con lo reportado por Call et al. (1987) cuando estudiaron el efecto clínico de dietas bajas en P en vacas lecheras. En este estudio los autores reportaron que los animales que consumieron la dieta baja en P (2.4 g P/kg) disminuyeron el consumo de alimento, producción de leche y peso corporal comparado con los animales consumiendo dietas de 3.2 y 4.2 g P/kg. Los mismos resultados fueron reportados por Brodison et al. (1989) y Brintrup et al. (1993) utilizando vacas con menor producción de leche 5,000 y 7,500 kg/año, respectivamente.

Wu y Satter (2000) realizaron un experimento de dos años con 42 vacas Holstein en el cual evaluaron 2 dietas con diferentes concentraciones de P. El primer año los animales estaban confinados recibiendo una dieta completa TMR con niveles bajos (3.8 g P/kg) ó altos (4.8 g P/kg) de P. El segundo año las vacas se mantuvieron bajo pastoreo y recibieron suplementos de concentrados con niveles bajos (3.1 g P/kg) ó altos (4.4 g P/kg) de P total. Las vacas alimentadas con la dieta baja en P no recibieron suplementación mineral, mientras que el grupo de vacas que recibieron la dieta alta en P

se suplementaron con una mezcla de fosfato dicalcico y fosfato de sodio los dos años. Los investigadores no observaron efecto significativo del P en la dieta y concluyeron que reducir el P en la dieta a 3.1 g P/kg no disminuye la producción de leche ni su desempeño reproductivo. De igual forma, Dhiman et al. (1995) no reportaron diferencia en el rendimiento de leche cuando se ofrecieron dietas con 3.9 ó 6.5 g P/kg a vacas lecheras.

López et al. (2004) reportaron los resultados similares en el desempeño reproductivo de vacas lecheras cuando administran dietas con varios niveles de P a 267 vacas Holstein. Los científicos evaluaron el ciclo estral, ovulación, preñez, concentraciones de progesterona, días al primer servicio y tasa de concepción en vacas alimentadas con dietas con concentraciones de 3.7 g P/kg (recomendado) y 5.7g P/kg. Los investigadores esperaban un mejor desempeño reproductivo con la dieta con mayor concentración de P; sin embargo, los resultados obtenidos no apoyaron esta hipótesis. Por lo tanto, concluyeron que la suplementación de P sobre las recomendaciones del (NRC, 2001) no es una práctica apropiada para mejorar el desempeño reproductivo.

Durante la etapa temprana de lactación las vacas movilizan P del hueso debido a la movilización inevitable de calcio. El P del hueso puede proveer entre 500 a 600 g de P durante la lactación temprana, por lo que es importante considerarlo al formular la ración en esta etapa de lactación. La liberación del P de los tejidos del cuerpo durante la lactación temprana provee una fuente de P rápidamente disponible para suplir las necesidades para mantenimiento y producción de leche (Knowlton y Herbein et al., 2002). Luego, este P se reestablece cuando el Ca y P son reabsorbidos por los huesos durante la última mitad de la lactación.

Para estudiar las características del P en el hueso Wu et al, (2001) evaluaron tres dietas con diferentes concentraciones de P (3.1, 3.9, 4.7 g P/kg). Todas las vacas produjeron 11,050 kg de leche en 308 días de lactación. Estos investigadores observaron que los animales con la dieta más baja en P (3.1 g P/kg) disminuyeron el contenido de P en el hueso y en el plasma sanguíneo luego de tres lactaciones. Las otras dietas no afectaron el desempeño del animal o la composición del hueso y el P en el plasma. No se reportó efecto negativo de las dietas, pero se concluyó que la dieta más baja en P pudiera estar en el límite inferior para causar deficiencias de P para vacas produciendo 11,050kg de leche/año.

Knowlton y Herbein (2002) estudiaron la partición del P en 13 vacas en lactación temprana. En este estudio las vacas recibieron dietas con concentraciones de P de 3.4 g P/kg, 5.1 g P/kg y 6.7 g P/kg. Las vacas pesaron en promedio 591 kg, con una producción de leche de 47.9 kg/día y un consumo de materia seca de 25.2 kg/día. Los autores al igual que otros (Wu et al., 2000; Wang et al., 2000, Morse et al., 1992b) reportaron un aumento en las concentraciones de P en las heces (42.3, 87.5 y 108.6 g/día) y orina (0.32, 1.28, y 3.90g P/día) y en la excreción total (42.6, 88.8 y 112.5 g P/día) de las vacas a medida que aumento el P en la dieta. El aumento de excreción en la orina fue similar a lo reportado por (Morse et al., 1992) en vacas de mediana lactación y en lactación completa (Wu et al., 2000). La digestibilidad aparente del P disminuyó con aumentos en consumo de P (49.0, 34.4 y 32.8). Wu et al. (2000) sugieren que una digestibilidad aparente de P menor de 40% puede ser indicativo de exceso de P en la dieta.

Varios investigadores (López et al. 2004; Wu y Satter, 2000; Valk et al., 2000) han demostrado en sus trabajos que la concentración de P entre 3.1 y 3.9 g P/kg MS

consumida es adecuado para vacas con producción de leche moderada a alta (5,000 a 11,000 kg leche por lactación completa respectivamente).

Algunos investigadores han reportado un efecto negativo en la producción de leche con un aumento en la concentración de P en la dieta. Carstairs et al. (1981) reportaron que el consumo de P en exceso puede disminuir la producción de leche. Vacas lactantes de primera lactación alimentadas con dietas con concentraciones de 35% mayores que la recomendación de P para los primeros 84 días de lactación, disminuyeron la producción de leche comparado con los animales que recibieron la recomendación de NRC, 3.3 g P/kg MS. La producción de leche en promedio disminuyó 1.8 kg/día y 816 kg menos en la lactación completa. Brodison et al. (1989) también reportaron una disminución en la producción de leche cuando administraron dietas altas en P (4.3 g P/kg MS).

Estudios recientes sugieren que el P en las dietas debe ser reducido a niveles de 3.3 g P/kg y que esto puede realizarse sin que afecte el desempeño del animal. Todos los autores mencionados anteriormente observaron que una sobre alimentación de P en las vacas lecheras promueve a mayor excreción de P en las heces fecales por lo tanto una disminución de P en las dietas es una herramienta importante para disminuir la excreción de P y eventual contaminación de los cuerpos de agua.

2.4.2. Efecto de la deficiencia de fósforo en la alimentación animal

Call et al. (1987) y Kincaid et al. (1981), demostraron una reducción en la producción de leche cuando administraron dietas deficientes en P (2.4 y 3.0 g P/kg de P). Los animales que consumieron 2.4 g P/kg disminuyeron el consumo de materia seca en la primera lactación y disminuyeron la producción de leche en la próxima lactación.

Resultados similares fueron reportados por Valk y Sebek (1999). Este efecto puede deberse a la disminución de la degradación microbiana en el rumen (Durand y Kawashima, 1980) causada por la falta de P, reduciendo la degradación de la fibra y la síntesis de proteína microbiana. Niveles de P deficientes pueden afectar la actividad metabólica de las células, las cuales influyen en el centro de saciedad, causando una disminución de apetito y por ende el consumo de alimento (McDowell, 1992).

Otro efecto de una dieta deficiente en P es la reducción del P en el plasma, sin embargo, usualmente la concentración en el plasma es mantenida por el P extraído de los huesos. La pérdida de apetito, inmovilidad, dolor en las articulaciones, reducción en crecimiento, pérdida de peso y condición corporal, producción de leche, baja fertilidad (baja actividad ovárica, baja tasa de concepción y baja tasa de preñez), apetito deprimido (pica), raquitismo (remoción intensa de P del hueso) y el crecimiento anormal de los huesos (Khan, 1994) son síntomas típicos de la deficiencia de P. La reducción del apetito es bien marcada en los rumiantes (McDowell, 1992). Dado la severidad de estos síntomas de deficiencia, los ganaderos y muchos nutricionistas tienden formular dietas con un margen de seguridad exagerado, promoviendo dietas con concentraciones en exceso de los nutrientes necesarios para la producción.

2.5. Requerimientos nutricionales de fósforo para vacas lecheras

En los últimos años se han estado revisando requerimientos nutricionales de P de las vacas lecheras. Beede y Davidson (1999) y el NRC (2001) proveen una excelente revisión de literatura en la cual justifican las nuevas tendencias a reducir la alimentación de P en vacas lecheras. Estas nuevas recomendaciones se basan en las necesidades de P para mantenimiento, crecimiento, preñez y lactación.

Mantenimiento

Los requerimientos para mantenimiento representan la pérdida inevitable de P en las heces cuando la cantidad de P ofrecido es mínima. Esta cantidad es la necesaria para reponer las cantidades de P perdidas en la saliva, residuos microbianos y células epiteliales del intestino durante la digestión. En el pasado, los requerimientos para mantenimiento se expresaban en función de peso corporal (NRC, 2001) y basado en datos de excreción fecal (ARC, 1980). Trabajos recientes sugieren que la pérdida inevitable de P en los rumiantes es en función de la excreción fecal, la cual refleja el metabolismo de P a través de las glándulas salivales. Así mismo esta relacionado al consumo de materia seca. La pérdida urinaria esta mejor asociada con el peso vivo del animal, pero su importancia relativa es mínima. Klosch et al. (1997) alimentaron toros en crecimiento de entre 228 a 435 kg de peso corporal. Se ofrecieron dietas bajas en concentrado (50%) y altas de concentrado (80%) y se determinó el balance de P. La excreción de P en las heces en promedio fue 1.0 g/kg de materia seca consumida. Los investigadores determinaron en sus modelos que el requerimiento para mantenimiento de animales en crecimiento fue de 0.8 g P/kg de materia seca consumida. Una pequeña parte de P se pierde en la orina por lo que se le añaden al modelo 0.002g/kg de peso corporal (pérdida en orina) (ARC, 1980) (Cuadro 2.1). Basado en estos resultados, el AFRC (1991) establecieron los requerimientos de P para mantenimiento en base a consumo de M.S (1 g P/kg).

Cuadro 2.1. Recomendación de alimentación de fósforo basado en la publicación de NRC (1989) y las recomendaciones desarrolladas en Alemania ((Kirchgeßner et al., 1993; citado por Satter y Wu, 1999). Ejemplo para una vaca Holstein de 600kg.¹

Producción de Leche kg /día	Consumo de Alimento kg MS/día	Recomendación NRC (1989) ²		Recomendación Kirchgeßner et al. (1993)	
		g P/día	g P/kg	g P/día	g P/kg
10	13.0	36.0	2.1	33.0	2.5
20	17.0	55.5	3.3	52.8	3.1
30	20.4	74.5	3.7	72.0	3.5
40	23.4	93.0	4.0	90.7	3.9
50	27.3	112.5	4.1	110.6	4.0

¹Fuente : Satter y Wu, 1999. Phosphorus Nutrition of dairy cattle. What's new?

²Recomienda 4.8 g P/Kg materia seca consumida las primeras tres semanas de lactación.

Spiekers et al. (1993) alimentaron con una dieta deficiente en P (2.1 g/kg) a dos grupos de animales de igual peso corporal, pero con diferente producción de leche y consumo de materia seca. Para los dos grupos el consumo total de P en la dieta consumida fue de 37 g/día (grupo 1) y 21.5 g/día (grupo 2). La excreción total de P fue diferente entre los grupos 1 y 2 (20.3 vs. 13.3 g/vaca/día, respectivamente. Esta excreción representó valores de 1.20 y 1.22 g P/kg de materia seca consumida para los grupos 1 y 2, respectivamente. Los autores determinaron los requerimientos de mantenimiento para vacas no lactantes y lactantes estimando en 1.0 y 1.22 g/kg de materia seca consumida, respectivamente.

Crecimiento

El requerimiento de P para crecimiento se calcula como la suma de la cantidad de P necesario para mantener tejidos y las necesidades para crecimiento del hueso. La mayoría de los animales jóvenes requieren más P por kg de ganancia en peso debido al rápido desarrollo de los huesos. Los alemanes ((Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y

Wu, 1999) estimaron que el requerimiento para animales en crecimiento es de 7.4 g P/kg de ganancia de peso diaria.

Preñez

Para vacas en lactación el requerimiento para mantener la preñez es bajo hasta el último trimestre. House y Bell, (1993) utilizando 18 vacas Holstein estudiaron el P depositado durante la concepción (feto, fluido fecal, membranas placenta y tejido uterino). Los animales fueron sacrificados a los 190 a 270 días de gestación. Los estimados de los requisitos de P para la concepción aumentaron de 1.9 a los 190 a 5.4 g P/d a 280 días de gestación. Por otro, lado los alemanes ((Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y Wu, 1999) estiman los requerimientos para preñez durante los últimos dos meses en 2.0 a 2.5 g P/d.

Lactación

El requerimiento de P para mantener la lactación o la producción de leche es calculada multiplicando el rendimiento de leche por la proporción de P en la leche. El contenido de P en la leche varía desde 0.83 a 0.85 g/kg (Wu et al., 2000), 0.87 a 0.89 g/kg (Spiekers et al., 1993), 0.90 a 0.100 g/kg (Flynn y Power, 1985). Un promedio de 0.9 g/kg es apropiado y utilizado para determinar los requerimientos de lactación por la NRC (1989). Los alemanes (Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y Wu, 1999) estimaron el P secretado en la leche en 1.0 g P/kg de leche producida.

El Cuadro 2.1 ilustra la comparación de la recomendación de P basado en la publicación de NRC (1989) y las nuevas recomendaciones realizadas en Alemania, ((Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y Wu, 1999) donde se presentan las recomendaciones para una vaca lechera de 600 kg de peso y produciendo leche con

3.75% de grasa. Se obtienen recomendaciones de P que son similares con ambos grupos de trabajo. La recomendación de P en el alimento para vacas que producen 25 y 52 kg de leche al día es de 3.2 y 3.8 g P/kg de materia seca respectivamente. El NRC (1989) sugiere que se alimente con dietas conteniendo 4.8 g P/kg durante las primeras tres semanas de lactación. Es importante reconocer que durante las primeras semanas de lactación el P se moviliza del hueso debido a la movilización inevitable del Ca. El P movilizado se reestablece tarde en la lactación por lo que una alimentación en exceso de lo requerido durante ésta etapa de lactación es innecesaria (Wu et al., 2001).

El cuadro 2.2 resume la recomendación de P para vacas lecheras en base a consumo y nivel de producción de leche según NRC (2001). El cuadro 2.3 demuestra datos de la literatura para requerimiento de P determinado en varias investigaciones. El requerimiento de la dieta fue calculado sumando los requerimientos de mantenimiento y lactación y este valor se divide por el coeficiente de absorción o el estimado de la degradabilidad del P. Beede y Davidson (1999) luego de analizar los trabajos publicados en la literatura proponen utilizar 0.70 como coeficiente de absorción para estimar los requerimientos de P para las vacas lecheras. El Cuadro 2.4 resume los requerimientos de P para toros, novillas y becerros.

Cuadro 2.2. Concentración de P requerida para vacas Holstein variando el consumo de materia seca y producción de leche (NRC, 2001)*

Consumo Kg MS/día	Producción de leche (kg/día)					
	29.55	31.82	34.09	36.36	38.64	40.91
	Concentración de P en la dieta g/kg MS					
20.45	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4
21.36	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9
22.27	3.1	3.3	3.4	3.5	3.7	3.8
23.18	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7
24.09	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6
25.00	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5

*Números sombreados indican la concentración de P recomendada basado en predicciones de consumo y nivel de producción de leche realizadas por (NRC, 2001).

Cuadro 2.3. Requerimiento P (g/d) determinado por diferentes científicos para vacas lecheras no preñadas de 600 kg consumiendo 20 kg de materia seca produciendo 30 kg de leche con 3.5% grasa.¹

Referencia	Requerimiento verdadero			CA ^a	Requerimiento total dieta
	Mantenimiento	Lactación	Total		
USA					
NRC (1978)	9.4	28.9	38.3	0.55	69.6
NRC (1989)	8.6	27.5	36.1	0.50	72.2
UK					
ARC (1980)	7.2	27.0	34.2	0.58	59.0
AFRC (1991)	22.1	27.0	49.1	0.58	84.7
Francia					
Gueguen et al. (1989)	17.5	27.0	44.5	0.60	74.2
Alemania					
GEH (1989)	14.4	30.0	44.4	0.60	74.0
Kirchgeßner (1993)	20.0	30.0	50.0	0.70	71.4
Holanda					
NRLO (1982)	15.1	27.0	42.1	0.60	70.2
Propuesto					
Beede y Davidson (1999)	24.0 ^b	27.0 ^c	51.0	0.70 ^d	72.8 ^e

¹Fuente: Beede y Davidson, 1999.

^aCoefficiente de absorción.

^bRequerimiento de mantenimiento (g/d) = 1.2 X DMI (kg/d) + 0.002 X BW (kg)

^cRequerimiento de lactación (g/d) = producción de leche (kg/d) X .09% de P en la leche.

^dCoefficiente de absorción derivado de la literatura.

^eRequerimiento de la dieta = (mantenimiento + lactación) ÷ coeficiente de absorción

Cuadro 2.4. Requerimiento de P para animales en crecimiento.

Categoría	NRC (1989)	Gueguen et al. (1989) g P/kg MS
Sustituto de leche	6.0	----
Becerras jóvenes < 12 meses	3.0 - 4.0	3.2 – 6.0
Novillas > 12 meses	2.3	3.5 – 5.0
Toros adultos	1.9	----

Fuente: Lynch y Caffrey, 1997

2.6. Balance de fósforo

El balance de nutrientes es una herramienta muy efectiva en la disminución del exceso de P en las fincas pecuarias. El balance de P es una manera de monitorear el ciclo del P (entradas y salidas) en las vaquerías (Figura 2.1). El objetivo de este balance es identificar puntos críticos para poder establecer mejores prácticas de manejo que sean efectivas en controlar y mejorar la eficiencia del P.

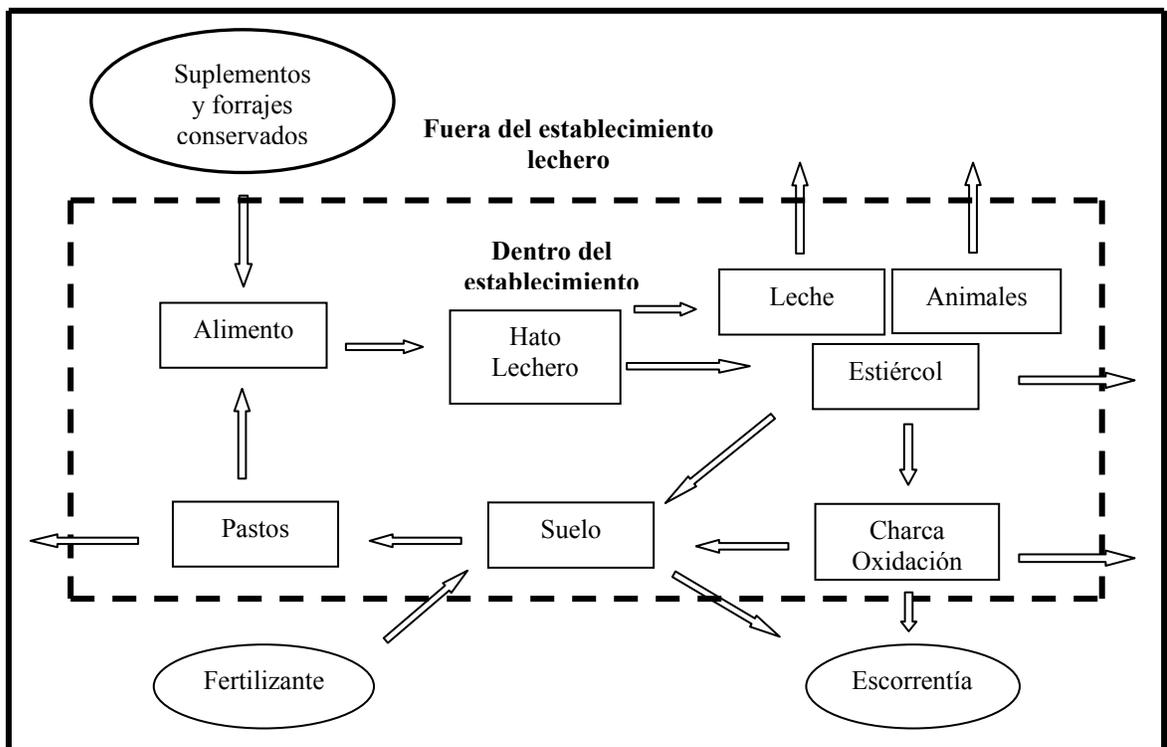


Figura 2.1. Flujo del fósforo en los establecimientos lecheros

La mayor parte del P que entra a la finca proviene de los suplementos concentrados, minerales y forrajes conservados que se adquieren fuera de la finca (Erb, 2002), mientras que la segunda fuente de P proviene de los fertilizantes fosfatados (Powell et al. 2002). El P es consumido por los animales y es utilizado para la producción de leche y mantenimiento. El P que está en exceso para producción y

mantenimiento se excreta, es almacenado en la charca de oxidación y aplicado directamente al suelo por los animales cuando están en pastoreo o irrigación. El P en el suelo es utilizado por los pastos para su desarrollo y crecimiento. El P que no es utilizado por los pastos se acumula en el suelo. Este P puede salir fuera de la finca mediante las aguas de escorrentías y sedimentos.

Spears et al. (2003) determinaron el balance de P en 41 fincas comerciales en Utah y Idaho. El tamaño de los hatos fue de 57 a 1,960 vacas con un promedio de 466. La producción de leche fue de 6,568 a 13,863 kg con un promedio de 10,344 kg/año. La eficiencia de utilización de P para producir leche fue reportado en 31.7%. El balance de P promedio para las fincas fue estimado en 6.0 toneladas métricas de P por año ó 10.7 kg P/animal/año.

Valk et al. (2000) describieron balances de P realizados en Reino Unido para tres sistemas de manejos diferentes. El primer sistema consistía en utilizar prácticas de manejos comerciales, el segundo sistema consistía en utilizar “BMP’s” para reducir el potencial de perdidas de N y P y el tercer sistema consistía en el aumento del área para pastoreo de la finca, además de la implementación de prácticas de reducción de perdidas de P y N mediante la reducción de la concentración de nutrientes. En el primer sistema se observaron excesos de 23.3 kg P/ha. En los sistemas dos y tres se reportaron excesos de 17 y 3.0 kg P/ha respectivamente. La reducción de los balances de P fue lograda principalmente por la reducción en la importación del P en los alimentos y fertilizantes a la finca. Estos datos indicaron que es posible reducir los excesos de P en las vaquerías sin perjudicar la producción de leche.

En Holanda se monitorearon 16 vaquerías que utilizaron prácticas para optimizar la eficiencia de utilización de nutrientes (Valk et al., 2000). El balance de P para estas fincas indicó un excedente de 16.9 kg P/ha. Esto fue mucho menor que el excedente de 31 kg P/ha para vaquerías donde no se utilizaron estas prácticas de manejo. La diferencia del exceso de P de las dos fincas con densidades de animales similares (2.0 animales/ha) se debe principalmente a que en las fincas donde se redujo la excreción de P utilizaron menos fertilizantes inorgánicos (6.5 vs. 14.8 kg P/ha) y estiércol orgánico (1.3 vs. 4.3 kg P/ha) comparado con las fincas que no utilizaron las prácticas de manejo.

Investigaciones recientes (Spears et al., 2003, Powell et al., 2001 y Van Horn et al., 1998b) han demostrado que la disminución del P en las dietas promueve una disminución en los balances de P a nivel de finca, aumentando la eficiencia en la utilización del mineral y disminuyendo la excreción de P en las heces fecales.

Edwards y Wu (2003) publicaron un artículo sobre el efecto de la reducción en la alimentación de P en un hato lechero en Pennsylvania, donde se ordeñan 300 vacas y se cultivan 700 acres de terreno. El objetivo de los ganaderos era desarrollar su hato para acomodar 800 vacas en ordeño para un total de 1,300 animales, incrementando mediante compra y alquiler a 1,300 acres de terreno. En base a la situación de la finca en ese momento, hubiera sido necesario añadir 500 acres adicionales de terreno (1,800 acres totales) para poder realizar la aplicación de estiércol en base a P. Por lo tanto, el ganadero optó por reducir el P en la dieta de 4.5 a 3.8 g P/kg de MS consumida. El hato no experimentó una reducción en la producción de leche ni en los parámetros reproductivos de las vacas al reducir los niveles de P en la dieta. Otra práctica establecida fue la exportación de estiércol fuera de la vaquería y llevados a áreas de producción de forrajes

conservados de áreas cercanas para la disposición del estiércol. Posterior a estos cambios, los análisis de minerales del suelo no aumentaron en las áreas de la finca donde se realizaban la mayor aplicación de estiércol, aun cuando se aumento de 300 a 1,300 animales en la finca sin la necesidad de aumentar el área de la finca a 1,800 acres.

2.7. Aplicación de estiércol y fertilizantes al suelo

El mayor problema que existe en el manejo de residuos en las fincas ganaderas es la sobre aplicación de estiércol a los cultivos. La aplicación del estiércol se realiza en base a los requerimientos de N, P y K de los cultivos. Se ha demostrado a través de la investigación que la alimentación de P en exceso resulta en estiércol con una relación P:N alta, sin embargo, la mayoría de los cultivos requiere una relación P:N baja; para obtener un rendimiento adecuado (Powell et al., 2001). La aplicación de estiércol en base a los requerimientos de N, disminuye el área a ser regada siendo necesario aplicar más cantidad de estiércol por unidad de tierra cultivada para suplir los requerimientos de N necesarios para la producción de pastos y otros cultivos.

La aplicación continúa de P a través del estiércol y fertilizantes inorgánicos a niveles que exceden los requerimientos de P de los cultivos ocasiona incrementos en las concentraciones de este mineral en el suelo y aumenta el potencial de la pérdida de nutrientes en el suelo por escorrentías (Ebeling et al., 2002; Sharpley et al., 1994). La pérdida de P en escorrentía ocurre por la adsorción del P a los sedimentos y a las formas solubles del mineral presentes en el suelo. El P en los sedimentos incluye P asociado con partículas de suelo y materia orgánica. El mismo tiene un alto potencial de pérdida durante los eventos de lluvias (Sharpley et al., 1994).

La aplicación del estiércol de los animales también tiene otros efectos sobre la capacidad de adsorción de P del suelo. Investigadores han sugerido que el P inorgánico es un indicador simple del potencial de liberación de P en la escorrentía (Duo et al., 2000; Sharpley y Moyer, 2000). El P en el estiércol es lavado por la escorrentía causada por la lluvia si este no se incorpora al suelo. Al entrar en contacto con el suelo, una gran proporción del P es adsorbido o atrapado por los sesquióxidos de hierro y aluminio o el aluminio intercambiable previniendo que se pierda por el lavado del terreno.

La adsorción y fijación de fósforo en el suelo es un proceso natural que influye en el movimiento de P. La fijación fosfórica es un proceso específico de adsorción que ocurre principalmente en los suelos con altos contenidos de óxidos de hierro (hematita, goethita) y óxidos de aluminio (gibbsite) y minerales de arcillas silicadas, principalmente caolinita. Estos suelos son típicos de zonas tropicales y subtropicales. Resultados de varias investigaciones han demostrado que la aplicación del estiércol de animales aumenta el P soluble y disminuye la capacidad de adsorción de P del suelo (Holford et al., 1997). Los efectos positivos del estiércol en la solubilidad del P son a consecuencia de la aplicación del P soluble inorgánico y la mineralización de P orgánico durante la descomposición del estiércol, que probablemente satura los lugares de adsorción en la superficie de los coloides oxídicos y con el aluminio intercambiable. Otra razón es que durante la descomposición del estiércol se producen ácidos orgánicos, los cuales forman complejos estables con Fe y Al bloqueando la retención de P en el suelo (Holford et al., 1997; Reddy et al., 1980;), en adición disminuye la fortaleza de adsorción del P debido a la interacción con aniones orgánicos (Siddique y Robinson, 2003). La capacidad de los aniones orgánicos para disminuir la adsorción de P puede ser determinada por la

estabilidad relativa de complejos de Fe o Al con aniones orgánicos y complejos de Fe o Al con fosfatos.

2.8. Fósforo en el suelo

Actualmente se ha documentado en la literatura un aumento en las concentraciones de P en el suelo de las fincas pecuarias, a consecuencia de la aplicación de estiércol a los cultivos (Ebeling et al., 2002; Powell et al., 2002, Knowlton y Herbain, 2002). En áreas lecheras de Wisconsin, el P (Bray) extraíble en el suelo aumentó de un promedio de 34 mg/kg en el periodo de 1968-73 a 50 mg/kg en el periodo 1990-94 (Bundy, 1998). Combs y Peters, (2000) en el periodo de 1995-99 reportaron que el 75% de los terrenos analizados tenían una concentración de P superior a la categoría “elevada” (24 mg/kg) y el 50% estaba por encima de la categoría “excesivamente elevada” (28 mg/kg) para la mayoría de los cultivos producidos en el estado de Wisconsin. Estudios realizados por Martínez et al. (2001) reflejan que el 75% de las muestras de suelo analizadas donde se aplicó estiércol generado en las vaquerías de Puerto Rico, exceden los niveles críticos agronómicos (35 mg/kg) para P (Olsen) (Muñiz-Torres, 1992). Esta sobrecarga de P en el suelo representa un peligro de contaminación de los cuerpos de agua contribuyendo a la eutrofización de los mismos (Powell et al., 2002; Sharpley et al., 1994; Graentz y Nair, 1995).

La acumulación de nutrientes en el suelo en especial el P y el N es la mayor preocupación de las agencias reguladoras que protegen la calidad de las aguas. Por lo tanto estas agencias recomiendan y están trabajando para establecer balances de nutrientes en las fincas de producción pecuaria. Además, el establecer un plan de manejo

de nutrientes, no tan solo disminuye la contaminación ambiental, sino que también aumenta la rentabilidad de los terrenos agrícolas para la producción animal.

3.0. Manejo del fósforo en dos vaquerías de Puerto Rico

3.1. Introducción

Durante los últimos años se ha demostrado que las industrias pecuarias son fuentes potenciales de contaminación a nuestros recursos naturales (Ebeling et al, 2002; Van Horn et al., 1994; Sharpley et al., 1994.). Dado esta situación, se ha sugerido modificar sus prácticas de alimentación para reducir el exceso de nutrientes y en particular el de fósforo (P) y nitrógeno (N) excretado, ya que estos son contaminantes potenciales de los cuerpos de agua. Para poder modificar adecuadamente las prácticas de alimentación en las operaciones pecuarias y en particular en las vaquerías de P.R. es necesario establecer balances o presupuestos de nutrientes a nivel de la finca. Mediante el balance de nutrientes es posible identificar y cuantificar los puntos críticos donde se puede conseguir un cambio significativo en las excreciones de nutrientes a través de cambios en las prácticas de manejo de los animales y forrajes. La meta de estos balances es reducir los excesos de nutrientes y maximizar la habilidad que tiene la finca para reciclar el P a través de la producción animal y el sistema de pastos o cultivos.

En P.R. al igual que en los EE.UU. (Ebeling et al., 2002) se ha documentado el exceso de nutrientes en los suelos (Martínez et al., 2001) y en aguas (Ocasio et al., 2003 y Sotomayor et al., 2001) y se sospecha que las vaquerías están contribuyendo al aumento nutricional de las aguas. Por lo tanto, la implementación de un balance de P a nivel de la finca cobra mayor importancia, como primer paso para generar soluciones a este problema. Esto permitirá identificar a nivel de finca los cambios de manejo necesarios para disminuir la contaminación causada por las empresas pecuarias a la vez que servirá para mejorar la eficiencia productiva y los costos de producción de éstas.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Selección y descripción de las fincas modelos

El estudio se realizó entre los meses de mayo de 2003 a agosto de 2004. Dos vaquerías con hatos de la raza Holstein fueron utilizadas como fincas modelos. La primera vaquería (finca A) esta localizada en el Bo. Hoya Mala del municipio de San Sebastián con un hato de 120 vacas en ordeño. La segunda vaquería (finca B) esta localizada en el barrio Ceiba Norte del municipio de Juncos con un hato de 482 vacas en lactación. Los ganaderos se identificaron como miembros del programa de mejoramiento de hato lechero (DHIP) y participantes del programa de manejo de residuos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, siglas en inglés). La selección de las dos fincas modelos se realizó por localidad, una en el área Oeste y otra en el área Este del país. Además se utilizó como criterio la diferencia en tamaño de la finca en número de animales, la utilización de pastoreo para la alimentación de las vacas y la disponibilidad del ganadero en cooperar con el proyecto; debido a la complejidad y metodología empleada en el estudio.

En la finca A, se realiza en promedio una aplicación de los residuos contenidos en la charca de oxidación por mes y se utilizan 10 estaciones de riego para regar 8 predios. La bomba de riego tiene una capacidad de aplicación de 726 L/min. (192 galones/minuto) con un promedio de aplicación de 4 horas por evento. La finca B, realiza la aplicación de residuos a los pastos 3 días a la semana utilizando 40 estaciones de riego en 20 predios. La bomba utilizada tiene una capacidad de aplicación de 3,402 L/min. (900 galones/min. con un promedio de aplicación de 4 horas.

3.2.2. Animales y estimados de la finca

Se obtuvo información sobre el total de animales (vacas lactantes, horras, novillas, becerros y toros) presentes en cada finca. Al no contar con récord de peso, para cada calculación incluyendo carga animal, se asumió pesos promedios de 545 kg (1200 lbs) para las vacas lecheras y horras, 227 kg (500 lbs) para las novillas de 9 meses de edad, 136 kg (300 lbs) para los becerros y 590 kg (1300 lbs) para los toros. La carga animal fue calculada como unidades animales por área en pastoreo, donde una unidad animal fue designada como 455 kg (1000 lbs) de peso vivo.

Se determinaron categorías de carga animal de la siguiente forma: < 5 baja; ente 5 y 10 intermedia; y mayor de 10 alta.

3.2.3. Muestras de alimentos

Se tomaron muestras de los alimentos concentrados y forrajes (pastos, heno, ensilaje) según aplicara en ambas fincas modelos. El período de muestreo experimental comenzó en mayo de 2003 y terminó en febrero de 2004. El muestreo se realizó cada dos semanas en la finca A y en dos días consecutivos al mes en la finca B. Durante el período de muestreo en la finca A, se colectaron un total de 20 muestras de alimento concentrado que consistieron en 10 muestras de concentrado lechero y 10 de alimento concentrado alto en fibra (AAF) directamente del silo de almacenamiento. Además, se colectaron 16 muestras de pasto estrella en los predios pastoreados por las vacas el día de pastoreo y 10 muestras de heno de alfalfa. Además, se colectaron 5 muestras de los alimentos ofrecidos a los otros animales presentes en la finca (horras, novillas, becerros y toros). En la finca B, se colectaron un total de 10 muestras de AAF obtenidos directamente del silo de almacenamiento. A su vez, se colectaron 12 muestras de pasto en los predios pastoreados

por las vacas lactantes y 10 muestras de ensilaje de sorgo. Todas las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas y enfriadas. Previo a ser analizadas el total de las muestras recolectadas dentro de un periodo se mezclaron proporcionalmente para obtener una muestra compuesta para cada alimento concentrado y para el pasto. Las muestras de alimento fueron analizadas para proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y neutro (FDN), P, Ca, magnesio, potasio y sodio en un laboratorio comercial (Dairy One (Ithaca, NY)).

Dos muestras de leche para análisis de P se tomaron directamente del tanque de almacenamiento. Una de ellas corresponde en la finca A y la otra fue colectada en la vaquería experimental de Lajas, propiedad de Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Ambas muestras fueron colocadas en botellas plásticas de un litro y congeladas hasta ser analizadas para P por el método de cenizas (Ryan et al., 2001).

En cada finca, se obtuvieron muestras de heces fecales de alrededor de 10 vacas lactantes distribuidas proporcionalmente de acuerdo a la producción de leche. Para la selección de los animales se utilizó la información de producción de leche provista por el DHIP. El muestreo consistió en tomar muestras de heces directamente del recto de los animales para evitar la contaminación con orina y heces fecales de otros animales. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas y congeladas hasta ser analizadas para P total (Ryan et al., 2001) y P disuelto (Dou et al., 2002).

3.2.4. Metodología para el muestreo de suelos

Se recolectaron muestras de los suelos en predios utilizados para pastoreo de las vacas lactantes en ambas fincas (11 y 10 muestras en la finca A y B, respectivamente). El muestreo se realizó a dos profundidades: 0 a 7cm (0-3 pulg.) y otra de 0 a 15cm (0-7

pulg.). El muestreo a una profundidad de 0 a 7 cm se utilizó para propósitos ambientales (Sharpley et al., 1996), ya que en los primeros 7 cm de suelo es que contiene la porción de P que esta más susceptible a movimiento por la escorrentía. El muestreo de 0 a 15 cm es utilizado para propósitos agronómicos; a esta profundidad es donde se encuentra el crecimiento de raíces, por lo tanto es utilizado para realizar la recomendación de fertilización. Para el muestreo se utilizó un patrón de “zig-zag” donde se colectaron 25 sub-muestras que cubrían la totalidad de cada cercado. Las muestras fueron colocadas en cubos, mezclados para luego tomar una muestra compuesta representativa del predio. Estas fueron colocadas en bolsas plásticas y llevadas al laboratorio de la Estación Experimental Agrícola en Río Piedras. Las muestras fueron secadas en aire, tamizadas (<2mm) y analizadas para pH y P total disponible por el método Olsen (Sims, 2000).

3.2.5. Metodología para el muestreo de la charca de oxidación

El recogido de muestras del efluente de la charca de oxidación en las dos fincas se realizó justo antes de la aplicación de estiércol a los predios. El muestreo se hizo directamente de la charca, lo que permite cuantificar los nutrientes disponibles para riego. Las muestras se tomaron a diferentes intervalos de tiempo luego de comenzar el agitado de la charca para un total de 7 muestras. La primera muestra se tomó antes de agitar y posteriormente después de comenzar la agitación cada 30 minutos por espacio de tres horas. En la finca A, se colectaron 20 sub-muestras aleatoriamente alrededor de la charca en cada intervalo de tiempo (5 por cada lado de la charca) a 2 m del borde y a 15 cm (Crouse et al., 2000) de profundidad. En la finca B, debido a que la charca tenía una forma irregular con áreas no accesibles se colectaron 30 sub-muestras. Las sub-muestras fueron combinadas en un cubo para luego obtener una muestra compuesta. Esta fue

colocada en una botella de plástico de un 1 litro. Luego fueron llevadas al laboratorio para determinar pH y refrigeradas hasta ser analizadas para P total mediante digestión con persulfato UV (Pote y Daniel., 2000) utilizando Vanadato de amonio y molibdato (Ryan et al., 2001)

El muestreo de los residuos aplicados durante el regado a los cercados, consistió en colocar 5 cubos en el predio durante el riego de residuos y se colectó una muestra del efluente de la charca aplicado a los pastos. Esto permite cuantificar los nutrientes que se aplican directamente al suelo. Una vez concluido la aplicación de estiércol se recogieron los envases. Las muestras fueron mezcladas en un cubo y se recolectó una muestra compuesta. La muestra fue colocada en una botella de plástico de 1 litro y se le determinó el pH. Posteriormente fueron congeladas para luego ser analizadas para P total y P disuelto mediante digestión con persulfato UV (Pote y Daniel., 2000) utilizando Vanadato de amonio y molibdato (Ryan et al., 2001)

3.2.6. Mediciones para la estimación de biomasa, disponibilidad y consumo de pasto.

La biomasa, la disponibilidad y el consumo de los pastos se estimaron mediante el uso de un disco calibrado (Santillan et al., 1979). El instrumento utilizado consiste de un eje de aluminio de 1.80 m de largo y 20 cm de diámetro. El eje fue calibrado a intervalos de 1 cm. El disco de aluminio que se desliza por el eje cubre un área de aproximadamente 0.25m^2 . Se muestreó el predio el día antes y el día después del pastoreo. En cada cercado muestreado, se obtuvieron aproximadamente 40 mediciones siguiendo un patrón predeterminado para cubrir todo el predio. Para cada medición se sujetó el eje verticalmente mientras se dejó caer sobre el pasto, donde se obtuvo una medida en

centímetros, el cual refleja una medición de la altura y densidad del forraje. Del total de las 40 mediciones se determinó el rango de los valores y se seleccionaron cinco medidas representando mediciones con valores altos, 2 medidas intermedias (altos y bajos). Después se seleccionaron áreas con alturas correspondientes a estos cinco niveles para obtener muestras del pasto. El área se marcó con un anillo del mismo diámetro del disco (0.25m^2) y se cortó el pasto dentro del anillo a 6 pulgadas sobre el suelo para determinar el rendimiento. Además, se muestreó el pasto simulando pastoreo para estimar el valor nutritivo del forraje consumido por las vacas. Todas las muestras de pasto obtenidas fueron secadas a 60°C en un horno de convección por un mínimo de 48 horas y molidas para determinar composición química del forraje. La biomasa en los cercados (kg/ha) se estimó mediante el uso de una ecuación de regresión formulada con las mediciones de altura realizadas con el disco.

$Y = (mx + b) * 40$, donde; $Y =$ biomasa de pasto (kg/ha), $m =$ pendiente, $x =$ altura promedio obtenida con la medición del disco, $b =$ intercepto en Y y 40 es constante por la utilización del disco de 0.25m^2 .

Disponibilidad de pasto (kg/vaca) = $\text{kg/ha} * \text{área del cercado} \div$ entre el número de animales en pastoreo.

Para estimar el área de los cercados en la finca A, se construyó un Sistema de Información Geográfico (GIS) en toda la finca. Con esta información se logró delinear los predios establecidos en la finca y estimar su tamaño. En la finca B, el tamaño de los cercados se estimó mediante la información provista por el ganadero y la oficina de campo de NRCS de Humacao P.R.

En la finca A, los cercados utilizados por las vacas lactantes estaban divididos en cercados donde se pastorea de noche y en otros de día. Los animales pastoreaban en ciclos diarios de 4 horas en las mañanas y 9 horas en la tarde y la noche después de cada ordeño. En la finca B, los cercados fueron divididos en cercados para los grupos de altas y bajas productoras. Las vacas clasificadas como bajas productoras pastoreaban un promedio de 17 horas por día, mientras que las clasificadas como altas productoras pastoreaban 9 horas por día. En cada finca los cercados fueron muestreados antes y después del pastoreo. La diferencia de los estimados de forraje disponible antes y después del pastoreo se utilizó para estimar la cantidad de forraje consumido por los animales.

3.2.7. Análisis de muestras experimentales

Para el análisis de P por cenizas se utilizó muestras duplicadas de 0.5 g pesadas en un crisol de porcelana. Los crisoles fueron colocados en la mufla y se quemaron a 550° C por 5 horas. La ceniza se disolvió en 5ml de ácido clorhídrico (HCl) 2N mezclándolo con un agitador de vidrio. Se transfirió la muestra a un matraz volumétrico de 50ml y se dejó reposar por 15-20 minutos. Después se llevó a volumen (50ml) utilizando agua deionizada. La mezcla de las cenizas con el ácido se disolvió en el agua y luego fue filtrada a través de un papel Whatman No. 42, el primer filtrado se descartó para evitar cualquier contaminación del papel o el envase utilizado. Posteriormente se analizó el filtrado para P por colorimetría utilizando el método de color amarillo de Vanadato de amonio y molibdato en ácido nítrico (Ryan et al., 2001).

El P disuelto en las heces fecales se determinó de una muestra seca de 0.3 g la cual fue disuelta en 30 ml de agua deionizada durante una hora de batido (Dou et al., 2002). La muestra fue centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos, se filtró con un filtro de

nitrocelulosa de 0.45µm de diámetro utilizando vacío y se leyó mediante colorimetría con el color amarillo por el método de Vanadato de amonio y Molibdato (Ryan et al., 2001).

Para desarrollar el color amarillo de la muestra, en un volumétrico de 50ml se tomó una alícuota de 10 mL de la muestra y se diluyó con 10 mL de agua deionizada. Luego se le añadió 10 mL de la solución desarrolladora de color (Vanadato de amonio y molibdato de amonio en ácido nítrico). Después se llevó a volumen con 50 mL con agua deionizada. Se esperó 15 minutos para el desarrollo de color de las muestras. La absorbancia se leyó a un largo de onda de 470 nm, en un espectrofotómetro de UV Lambda 36 de Perkin-Elmer.

Se preparó una solución patrón de P conteniendo 50 ppm de P. Para prepararla se pesó 0.2812g K_2HPO_4 y se diluyeron en un 1L con agua destilada. Para preparar la solución estándar se diluyeron 5, 10, 15 y 20 ml de la solución en un volumétrico de 50 mL y se añadió agua deionizada. Estos estándares contenían 5, 10, 15 y 20 ppm de P respectivamente. Los valores de P en el desconocido se obtuvieron mediante la curva de calibración obtenida.

Leche

Las muestras de leche fueron preservadas congeladas. Antes de ser analizadas fueron descongeladas y homogenizadas para luego ser analizadas para P (Morse et al., 1992b). Las muestras de leche (2.5g) fueron transferidas a un “beaker” de 50ml, y secadas, colocadas en el horno a 100° C y luego quemadas a 500°C en la mufla por 5 horas. Las cenizas fueron solubilizadas con HCL 2N y se analizaron para P (Ryan et al., 2001).

Agua

Las muestras de agua fueron colectadas, refrigeradas y enviadas al laboratorio de la EEA-Río Piedras donde se analizaron para P total mediante digestión con persulfato UV (Pote y Daniel,, 2000).

Charca de oxidación

Las muestras de la charca de oxidación se analizaron para P total y P disuelto. Para el análisis del P disuelto las muestras se batieron por espacio de 10 minutos para mantener los sólidos en suspensión y luego se centrifugaron por 25 minutos a 4000 rpm. Posteriormente se filtraron utilizando vacío a través de filtros de nitrocelulosa de 0.45µm de diámetro. Para el análisis de P total se obtuvo una muestra sin filtrar. Las muestras utilizadas para P total y P disuelto fueron digeridas por el método de persulfato (Pote y Daniel, 2000) y leídas mediante colorimetría con el color amarillo por el método de Vanadato de amonio y molibdato (Ryan et al., 2001).

3.2.8. Balance de fósforo

El balance de P en las dos fincas fue determinado siguiendo el modelo propuesto por Van Horn et al. (1998a) que utiliza la diferencia entre la masa de P (kg P/finca) que entra a la finca, (entrada) y la que sale de la finca, (salidas).

El balance de P por animal se estima al contabilizar los insumos de P en el alimento importado (concentrado, forraje y minerales suplementados) y el P que sale de la finca contenido en la leche. Este balance es realizado para determinar la excreción de P total y los excesos de P en la alimentación y la excreción fecal.

Para los animales no lactantes (vacas horras, novillas, becerros y toros) se estimó el balance de P como la diferencia del P consumido menos el P utilizado para el

crecimiento. La estimación para crecimiento se realizó utilizando el factor 7.4 g P (concentración de P necesario para mantener los tejidos y las necesidades del hueso durante el crecimiento) ((Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y Wu, 1999)) por la ganancia (kg) en peso del animal. Se asumió estimados de ganancia de peso de 0.74, 0.68 y 0.54 kg/día para toros, becerros y novillas, respectivamente. Para aquellos animales preñados en su último trimestre se contabilizó un requerimiento de 2.5 g P/día para el crecimiento del feto (((Kirchgeßner, 1993; citado por Satter y Wu, 1999))). Los animales preñados fueron identificados por los ganaderos ya que los mismos agrupan las vacas próximas a parir en áreas cercanas a las fincas y mediante el uso de los record del DHIP.

El balance de P a nivel de la finca se estima contabilizando los insumos de P en el alimento importado y fertilizantes menos las salidas de P en la leche, animales para la venta y vacas de descartes.

Beede y Davidson (1999) estudiaron los modelos de excreción de P y llegaron a la conclusión que el modelo propuesto por Van Horn et al. (1998) es el más apropiado. Este modelo asume que la retención de P es constante. Tomlinson et al. (1996) concluyeron que el modelo simple de insumos y salidas es tan preciso como ecuaciones derivadas de datos de excreción reportados en la literatura. Estimados de excreción realizados por entradas y salidas son más exactos para propósitos de balances o presupuestos que la extrapolación de una simple ecuación basado en peso del animal (ASAE, 1990), debido a que esta ecuación no toma en cuenta la variación de composición y consumo de dietas y el desempeño productivo (Van Horn et al., 1996). Por consiguiente se decidió desarrollar

el modelo simple para determinar el balance de P en la finca según lo propuesto anteriormente por Beede y Davidson (1999) y Van Horn (1998).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Información general de las fincas modelos

La información general de las fincas se presenta en el Cuadro 3.1. La finca A, tiene un área disponible de terreno en pastos mejorados de 58 ha, donde en la gran mayoría de estas predomina la hierba estrella (*Cynodon nlemfuensis*), en áreas aisladas más húmedas de la finca se encuentra la hierba malojillo (*Urochloa mutica*) y la malojilla, (*Eriochloa polystachya*). El hato lechero consiste de 201 animales en total, de los cuales 120 son vacas en lactación y el resto son vacas horras, novillas, becerros y 2 toros. El 60% del total de los animales son vacas lactantes con un promedio de producción de leche de 19.55 kg/día.

Cuadro 3.1. Información general de las fincas modelos.

	Finca A	Finca B ¹
Área para pastoreo (ha)	58	310
Número de animales		
Lecheras	120	482
Horras	29	200
Novillas	44	300
Becerros	6	300
Toros	2	7
Total	201	1,289
Carga Animal		
Unidad animal en la finca ²	205	1,068
Unidad animal/ha ³	3.5	3.4
Unidad animal/ha (lecheras) ⁴	5.2	8.0
Producción de leche (kg/vaca/día)	19.55	14.55
		25.91

¹Divide los animales en base a producción de leche: 170^b vacas bajas y 312^c altas productoras.

²Una unidad animal son 455 kg de peso animal.

³Unidad = unidad animal/hectáreas (ha) en pastoreo

⁴Las vacas lactantes para finca A, utilizan 28 ha, vacas lactantes finca B, utilizan 72 ha.

La finca de B, tiene un área de pastoreo de 310 ha en las cuales predominan variedades de pasto mejorados como la yerba malojillo (*Urochloa mutica*), la estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con menor área de braquiaria, (*Urochloa brizanta cv. Mulato*). La finca tiene un hato de 1,292 animales totales, de los cuales 482 son vacas en lactación y los animales restantes (807) son vacas horras, novillas, becerros y toros (Cuadro 3.1). En esta finca, a diferencia de la finca A, las vacas lactantes se dividen en dos grupos de acuerdo a su producción de leche. El grupo de vacas bajas productoras tiene aproximadamente 170 animales con una producción promedio de aproximadamente 14.55 kg/día y el grupo de altas productoras mantiene aproximadamente 312 vacas con una producción promedio de aproximadamente 25.91 kg/día.

3.3.2. Carga Animal

La carga animal (UA) total para la finca A, fue de 3.54 UA/ha (Cuadro 3.1). Los predios utilizados para las vacas lecheras totalizan unas 28 ha divididos en 14 cercados de aproximadamente 2 ha c/u, esto equivale a una carga animal de 5.16 UA/ha (144 UA/28 ha) y 1.94 UA/ha en los predios utilizados para los otros animales en la finca (vacas horras, novillas, becerros y toros).

La finca B, utiliza una carga animal total calculada en 3.44 UA/ha. La carga animal para el grupo de vacas altas productoras fue de 10.4 UA/ha (374.4 UA/36ha) y 5.66 UA/ha (204 UA/36ha) para el grupo de bajas productoras y 2.43 UA/ha para los otros animales de la finca.

Powell et al. (2002) documenta que una carga animal (UA/ha) baja esta relacionada a fincas con balances de nutrientes bajos. También esta relacionado con la capacidad de la finca para producir el forraje necesario para pastoreo y proveen suficiente

área de terreno en pastos para establecer mejores prácticas de manejo (BMP's). Powell et al. (2002) observaron valores de carga animal bajos (0.19 UA/ha) a altos (1.68 UA/ha) en los hatos lecheros de Wisconsin. El 70% de los productores de leche encuestados demostraron tener suficiente área para producir el forraje necesario para alimentar sus hatos lecheros. Los investigadores reportaron que fincas ganaderas con carga animal mayor de 0.7 UA/ha no son auto-suficientes para producir el forraje y los granos necesarios para alimentar sus hatos, por lo que tienden a importar alimento y suplementos a sus fincas. Una auto-suficiencia en producción de forraje generalmente indica que la finca o hato lechero tiene terreno disponible para reciclar el estiércol y los nutrientes generados por el hato lechero (Powell et al., 2002). Las dos fincas modelos (A y B) tienen una carga animal alta en comparación con vaquerías de EE.UU.; sin embargo, son bajos para lo observado en P.R.

3.3.3. Biomasa y disponibilidad de pastos

La biomasa disponible promedio antes del pastoreo, en la finca A, fue estimada en 2,595 kg MS/ha para el período de julio-septiembre, 2,325 kg MS/ha para el período de octubre-noviembre y 1,747 kg MS/ha para el período de diciembre-febrero (Figura 3.1). La disponibilidad de pasto por vaca fue de 52.7 kg MS/vaca/día para el período de julio-septiembre, 40.9 kg MS/vaca/día para el período de octubre-noviembre y 24.5 kg MS/vaca/día para el período de diciembre-febrero (Figura 3.1).

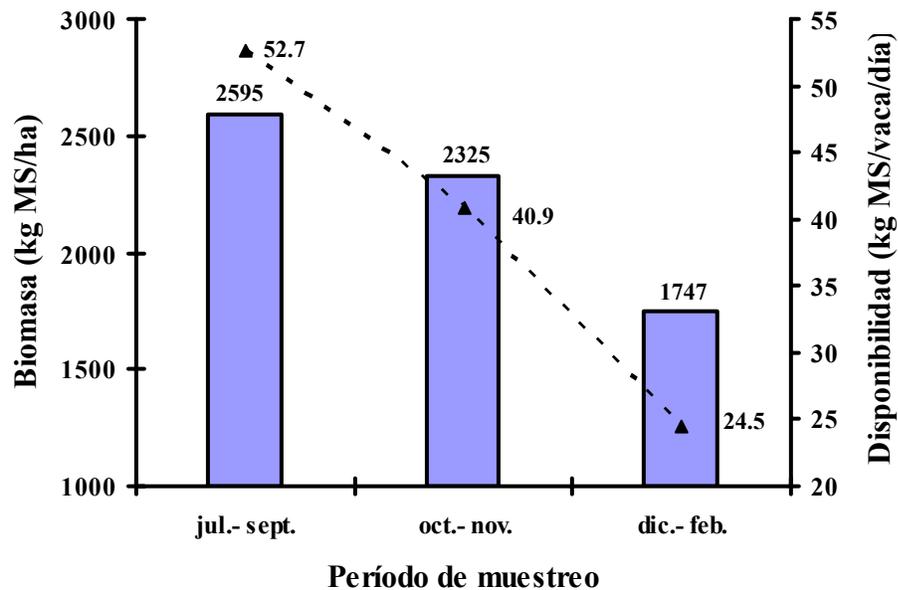


Figura 3.1. Estimados de biomasa y disponibilidad de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) utilizado diferentes épocas del año en la Finca A.

Los resultados de las mediciones de biomasa, demuestran que para el período de julio-septiembre y el de octubre-noviembre se produjo una alta disponibilidad de pasto para la cantidad de vacas lecheras en pastoreo. Durante estas épocas, aparentemente estos predios están siendo subutilizados por los animales lo cual implica un sobrante de material que no será consumido. Este sobrante madura y se pondrá más fibroso y lignificado a medida que transcurre el tiempo. Como consecuencia, reducirá la cantidad de forraje tierno disponible para consumo por las vacas al momento de pastoreo. De manera que es recomendable estudiar la posibilidad de cortar el pasto para incrementar la cosecha de éste durante la época de alta disponibilidad (Ball et al., 2002).

En la finca B, la biomasa para los predios de las vacas bajas productoras, fue estimado en 2,925, 1,258, 1,666 kg/ha para los períodos de julio-septiembre, octubre-

noviembre y diciembre-febrero respectivamente. La disponibilidad de forraje por vaca se estimó en 57.5, 19.5, 37.0 kg MS/vaca/día para los periodos mencionados, respectivamente (figura 3.2.).

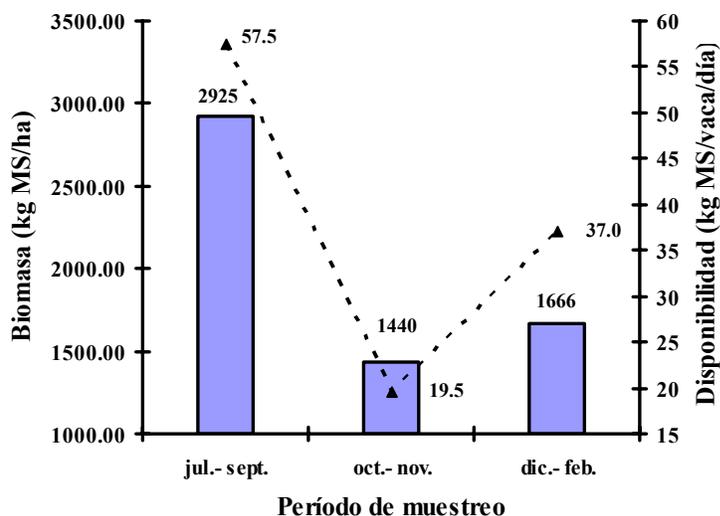


Figura 3.2. Estimados de producción de biomasa y disponibilidad de pastos en diferentes épocas del año en predios de vacas bajas productoras en la Finca B.

Los predios pastoreados por el grupo de bajas productoras reflejaron un patrón similar a los de altas productoras en la disminución de MS según cambia la estación del año. Sin embargo, los estimados de biomasa y disponibilidad para el período de octubre a noviembre en los predios de bajas productoras fueron 226 kg/ha y 17.5 kg/vaca más bajo que la biomasa y disponibilidad estimada en el período de diciembre a enero. Esto se debe, a que estos predios muestreados en esta época, no reciben aplicaciones de residuos de la charca y muy poco fertilizante en comparación con los otros predios muestreados, disminuyendo su rendimiento y disponibilidad de pastos para los animales en comparación con los predios muestreados.

En los predios utilizados por las vacas altas productoras se observaron valores de biomasa de 3,087, 2,204 y 1,511 kg/ha y una disponibilidad de 40.9, 34.5, 16.9 kg/vaca (Figura 3.3) para el período julio-septiembre, octubre-noviembre y diciembre-febrero, respectivamente.

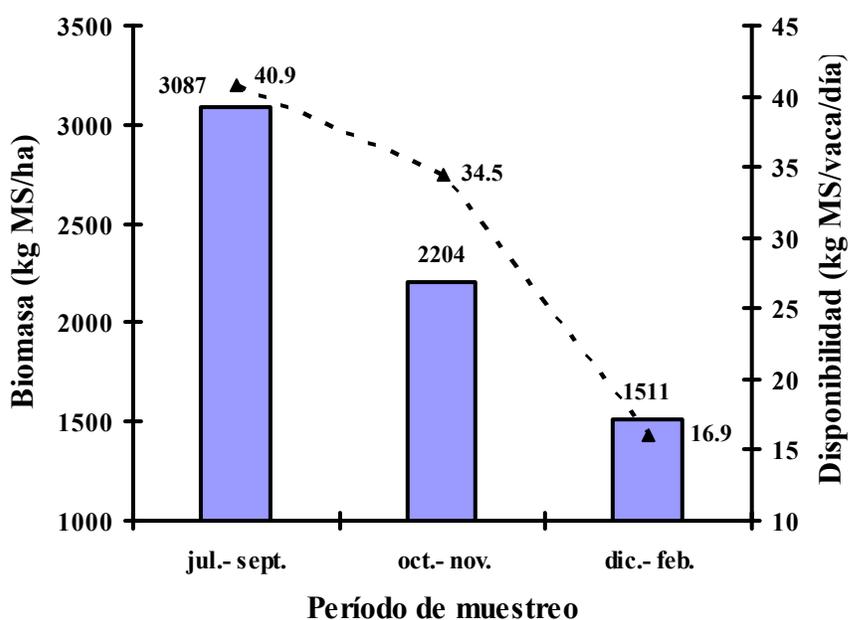


Figura 3.3. Estimados de producción de biomasa y disponibilidad de pastos en diferentes épocas del año en predios de vacas altas productoras en la Finca B.

Los datos observados en la finca A y B, reflejan una alta disponibilidad de pasto (kg/vaca/día) durante los meses de julio a febrero el cual permite un alto consumo de pasto en vacas no suplementadas con concentrado. Fike et al. 2003 y Bargo et al. 2002 reportaron que una alta disponibilidad para vacas sin suplementación con concentrado corresponde a valores entre 25 y 40 kg/vaca/día. Comparando los resultados en las dos fincas, estas presentan disponibilidad alta con valores mayores a 40 kg/vaca en la época

de verano y va disminuyendo en la época de invierno aun reflejando alta disponibilidad de pasto.

La biomasa (kg MS/ha) y disponibilidad (kg/vaca/día) de pastos disminuye debido al efecto de la estación del año y la baja precipitación de lluvia en el período de invierno (Vicente-Chandler et al., 1983). La producción de MS se reduce en los meses de octubre a febrero, aproximadamente a la mitad comparado a los meses de verano. Durante esta época hay menos lluvia, los días son más cortos y el clima es más fresco (Vicente-Chandler., 1983).

3.3.4. Consumo de pasto

El consumo promedio de pastos en la finca A, fue estimado en 7.12 kg MS/vaca. El consumo promedio para el período de julio a septiembre fue de 5.26 kg MS/vaca, para el periodo de octubre a noviembre fue de 6.55 kg MS/vaca y el período de diciembre a febrero fue de 8.03 kg MS/vaca. El patrón de consumo presentado en esta finca es aceptable ya que durante los meses de verano se reduce el consumo de pasto (Wales et al., 1999). En la finca B el estimado de consumo de pasto fue de 6.46 y 4.0 kg MS/día para el grupo de bajas y altas productoras respectivamente. El grupo de bajas productoras en la finca B, consumieron más forraje debido a que pasan mayor tiempo en pastoreo que las del grupo altas productoras 17 vs 9 hrs/día y no se suplementaron con ensilaje de sorgo como las vacas en el grupo de altas productoras.

Se observó mayor consumo de pasto en la finca A, que en la B, En la finca B se pastorea 13hrs/día y puede resultar en una mayor disponibilidad de pasto a los animales.

Aún cuando la disponibilidad del pasto fue menor en diciembre-febrero el consumo de pasto por vaca fue mayor indicando que la disponibilidad de 15 kg MS/vaca

aparenta ser adecuada para vacas suplementadas con concentrados a los niveles observados en estas fincas.

Los estimados de consumo de pasto son similares a los reportados por Randel y Moyá (2004), cuando estimaron el consumo de pasto para vacas lecheras en 6.63 kg MS/día utilizando el método del disco calibrado (Santillan et al., 1979) en un hato lechero de P.R.

El consumo de MS en la finca A, fue mayor en el período de diciembre a febrero en comparación con el período de verano aún cuando la disponibilidad de pasto fue mayor en el período de julio-septiembre. Esto ocurre debido a que en la época caliente aunque hay mayor disponibilidad de pasto, hay menor utilización de pasto el cual causa un deterioro en la calidad de estos según progresa la estación del año por incrementos de pasto en exceso (Ball et al., 2002). Además el pasto tiende a ser de menor valor nutritivo comparado con la época fresca, donde los pastos son más tiernos, son de mayor valor nutritivo y los animales aumentan el consumo (Tozer et al., 2004; Vazquez y Smith, 2000). También se reduce el consumo de pastos debido al efecto del estrés calórico causado por las altas temperaturas y humedad relativa en las vacas en pastoreo.

3.3.5. Composición química de los pasto

Contrario a la tendencia observada para el rendimiento de forraje, el contenido de proteína cruda (PC) del pasto aumentó en los meses de invierno (diciembre a febrero). En la finca A, se observaron aumentos en PC de 5.49% entre el período de julio-septiembre al período de octubre-noviembre y un aumento adicional de 0.72% sobre lo obtenido en otoño en el período de diciembre-febrero (Cuadro 3.2). En la finca B, la concentración de proteína cruda en el pasto consumido aumentó en 4.3% entre el período de julio-

septiembre y diciembre–febrero para el grupo de bajas productoras. Para el grupo de altas productoras aumentó solo 3.78% Datos similares fueron reportados por Vicente-Chandler et al. (1983) cuando reportaron aumentos en la concentración de PC durante los meses de invierno, debido al efecto de concentración por una menor producción de forraje.

Cuadro 3.2. Contenido promedio de proteína y fibra detergente neutro (FDN) en los pastos de gramíneas tropicales utilizados en las fincas modelos².

Período de muestreo	Proteína (%) ¹			FDN (%) ¹		
	Finca A	Finca B		Finca A	Finca B	
		Bajas	Altas		Bajas	Altas
julio – septiembre	12.20	10.67	13.05	74.00	68.10	64.55
octubre – noviembre	17.69	17.41	15.37	64.60	66.60	63.50
diciembre - febrero.	18.41	15.02	16.83	62.00	63.40	62.00

¹Base seca

²Datos promedios de muestreos realizados en los diferentes períodos.

La composición química promedio de los pastos consumidos se presenta en los cuadros 3.3 para la finca A y Cuadro 3.4 para la finca B. En general, el valor nutritivo de los pastos consumidos por las vacas altas productoras en la finca B, fue mayor que el consumido por las vacas en el grupo de vacas bajas productoras. Esta diferencia se debe a un mejor manejo de los pastos, una mayor aplicación de fertilizante y desperdicios orgánicos en los predios utilizados por el grupo de altas productoras.

Cuadro 3.3. Composición química de alimentos utilizados en la finca A¹.

Componentes ²	Heno de Alfalfa	Pasto ⁴	Concentrado Lechero	Concentrado Alto en fibra “Bulky”
Materia seca (%)	91.8	91.0	94.5	88.5
Proteína cruda (g/kg)	192	161	201	213
Fibra detergente ácido (g/kg)	363	332	71.0	119
Fibra detergente neutro (g/kg)	479	669	188	280
TDN(g/kg)	570	603	797	815
NEL, (Mcal/lb)	0.57	0.49	0.85	0.90
Calcio (g/kg)	16.8	6.0	13.4	13.5
Fósforo (g/kg)	3.2 ³	3.9 ³	6.5	8.3
Magnesio (g/kg)	2.7	1.7	3.2	4.3
Potasio (g/kg)	25.8	26.5	11.6	2.4
Sodio (g/kg)	1.0	0.8	2.3	2.4

¹Base seca. Valores promedios de 10 muestreos realizados durante el estudio¹.

²Análisis realizados en el Laboratorio Dairy One Ithaca New York.

³Análisis realizados por el método de ceniza (Ryan et al., 2001).

⁴Pasto de gramíneas tropicales, predomina el pasto estrella, *Cynodon nlemfuensis*

Cuadro 3.4. Composición química de alimentos utilizados en la finca B.

Componentes ^{1,2}	Ensilaje Sorgo ^a	Pasto ^a		“Bulky” ^b	Mezcla Mineral ^a	Harina Pescado ^a
		Altas	Bajas			
Materia seca	90.00	91.10	91.75	88.25	---	92.0 ⁴
Proteína cruda(g/kg)	90	182	134	241	---	667 ⁴
Fibra detergente ácido (g/kg)	382	336	352	158	---	---
Fibra detergente neutro (g/kg)	558	642	674	316	---	---
TDN (g/kg)	565	610	600	845	---	---
NEL, (Mcal/lb)	5.4	0.53	0.49	0.94	---	---
Calcio (g/kg)	5.0	3.4	3.5	15.6	---	56.5 ⁴
Fósforo (g/kg)	2.3 ²	3.6 ²	3.6 ²	7.7	7.8 ²	5.4 ²
Magnesio (g/kg)	2.9	1.9	2.0	4.1	---	1.6 ⁴
Potasio (g/kg)	15.5	32.3	25.1	10.9	---	7.6 ⁴
Sodio (g/kg)	0.6	2.1	1.7	5.4	---	4.3 ⁴

¹Base Seca. Valores promedios de 10 muestreos realizados durante el estudio¹.

²Análisis realizados en el Laboratorio Dairy One Ithaca New York

³Análisis realizados por el método de ceniza (Ryan et al., 2001)

⁴Valores tabulares (NRC, 1989)

^aPasto de gramíneas tropicales, predomina estrella *Cynodon nlemfuensis*, grupos de vacas altas y bajas productoras

^bUtilizado solo en vacas altas productoras

Contrario al patrón observado para la concentración de la PC, en la finca A, el contenido de FDN disminuyó 9.4% entre el período de julio-septiembre al período de octubre-noviembre y una reducción adicional de 2.6% en el período de diciembre-febrero. En la finca B, para el grupo de cercados utilizados para las vacas bajas productoras disminuyó solamente en 1.05 y 1.5%, mientras que para los grupos de vacas altas productoras entre el período de julio-septiembre, a octubre-noviembre y reducciones adicionales de solo 1.5 y 3.2% en el período de diciembre-febrero. Datos similares fueron reportados por (Bargo et al., 2002) cuando reportaron una disminución del porcentaje de

FDN de 59.4%, en primavera-verano a 51.9% en el período de otoño-invierno para pastos de gramíneas.

La concentración de P en el pasto consumido, promedió 3.9 y 3.6 g P/kg de MS para las fincas A y B, respectivamente (Cuadro 3.3 y 3.4). Estos datos concuerdan con datos recientes en muestras de pasto estrella reportadas para vaquerías comerciales de P.R. (Trebilcock, 1998, comunicación personal) que fluctuaron entre 1.8 a 4.8 g P/kg MS y promediaron 3.7 g P/kg MS. Los valores de P en el pasto consumido son más altos que lo reportado en el pasado por Vicente-Chandler et al. (1983) cuando reportaron promedios en concentración de P que no exceden los 3.0 g P/kg de MS, aun cuando se utilizó 100 kg P/ha.

Los niveles de P en el forraje, observados en este estudio, fueron similares a lo reportado por Cerosaletti et al. (2004), para gramíneas con un rango de 3.8 a 4.0 g P/kg de MS. Los autores concluyeron que altos niveles de P en el pasto, en muestras tomadas en fincas lecheras se debe a las altas concentraciones de P en los suelos o diferencias en la mineralogía del suelo, resultando en plantas con altas concentraciones de P (Cerosaletti et al., 2004).

El análisis de P en el forraje encontrado en las dos fincas modelo es de suma importancia para poder balancear las dietas adecuadamente: ya que, los valores promedios reportados en la literatura son más bajos y su utilización para la formulación de P en la dieta puede resultar en una subestimación de P en el forraje y en una sobre suplementación del mineral en la dieta. El alto contenido de P en los pastos reduce la necesidad de una alta suplementación de P en el alimento concentrado.

Desde una perspectiva agronómica, la alta concentración de P en el forraje representa una gran oportunidad de remover más P del suelo, aspecto muy importante en el manejo y reciclaje de nutrientes en la finca. La remoción de P en altas concentraciones, puede resultar en la disminución de la acumulación de P o ayudar a disminuir el contenido de P en el suelo (Cerosaletti et al., 2004).

3.3.6. Alimentación del ganado

El contenido promedio de P en el alimento concentrado utilizado en la finca A, fue de 6.5 g P/kg con un rango de 5.8 a 7.2 g P/kg; la concentración de P en el alimento AAF, fue en promedio de 8.3 g P/kg fluctuando entre 5.7 a 9.0 g P/kg. El heno de alfalfa promedió 3.2 g P/kg con un rango de 2.8 a 3.5 g P/kg (Cuadro 3.3). En el Cuadro 3.5 se presenta la composición química de la dieta total consumida en ambas fincas.

Cuadro 3.5. Estimado de la composición química de la dieta consumida por las vacas lecheras en las dos fincas modelos¹

Composición química	Finca A	Finca B ²	
		Bajas	Altas
Proteína cruda (g/kg)	186	197	207
Fibra detergente ácido (g/kg)	209	237	236
Fibra detergente neutro (g/kg)	416	462	429
TDN (g/kg)	698	745	717
NEL, (Mcal/lb)	0.68	7.6	7.5
Calcio (g/kg)	10.9	10.7	11.5
Fósforo (g/kg)	5.3	6.0	5.7
Magnesio (g/kg)	2.7	3.2	3.3
Potasio (g/kg)	19.0	16.7	16.7
Sodio (g/kg)	1.6	3.9	3.7

¹Base seca.

²Divide las vacas lactantes por grupos: altas y bajas productoras.

La dieta en la finca A, en promedio tiene una concentración de 18.56% de PC. Esta concentración puede ser excesiva en los meses frescos donde los pastos son de mayor valor nutritivo y contienen más concentración de PC. Además para la producción de leche observada en la finca lo recomendado por el (NRC, 2001) es una concentración de PC de 16%. La concentración de P en la dieta total fue de 5.3 g de P/kg. Esta concentración es 61% mayor que los requisitos nutricionales establecidos por el NRC, (2001), para una producción de leche de 19.55 kg/vaca.

La composición química de los alimentos utilizados en la finca B, se presenta en el Cuadro 3.4. El alimento concentrado, promedió 7.7 g de P/kg con un rango de 5.7 a 8.3 g P/kg de MS. Como suplemento para el grupo de altas productoras, también se utilizó ensilaje de sorgo. Este contenía una concentración de P de 2.3 g/kg y un rango de 1.7 a 4.2 g de P/kg de MS. Al grupo de vacas altas productoras, también se le ofreció una premezcla de minerales (7.8 g P/kg) y harina de pescado (5.4 g P/kg). La composición química de la dieta total se presenta en el Cuadro 3.5. La dieta total contiene en promedio una concentración de PC de 19.70 y 20.66% para las dietas consumidas por el grupo de vacas bajas y altas productoras, respectivamente. La concentración de P en la dieta total fue de 6.0 y 5.7 g de P/kg para ambos grupos de vacas, respectivamente. Esta concentración es 82 y 64% en exceso de los requisitos nutricionales establecida por el NRC (2001), para una producción de leche de 14.55 y 25.91 kg/vaca en los grupos de bajas y altas productoras. Ambas dietas presentan concentraciones excesivas de PC y P las cuales eventualmente son excretadas por los animales incrementando el contenido de estas en las heces fecales. La concentración de PC para la producción de leche observada

en los dos grupos debe ser entre 15 a 16% (NRC, 2001), o sea se observó un exceso en la concentración de PC de 4%.

El consumo total de MS estimado en la finca A, fue de 18.4 kg/día; 7.1 kg MS/día de pasto, 2.1 kg/día de heno de alfalfa y 9.2 kg de alimento concentrado (Cuadro 3.6). El nivel de suplementación de concentrado fue estimado en 0.47 kg concentrado/kg de leche producida o una eficiencia de concentrado para producir leche de 2.13 kg de leche/kg de suplemento concentrado. Con las cantidades de cada alimento ofrecido a las vacas lecheras y su contenido de P (Cuadro 3.3) se determinó el estimado de consumo de P en 97.3 g/vaca/día. El 61% del consumo total de materia seca en la finca A proviene de suplementos importados (concentrados y forrajes conservados), contribuyendo estos el 71% del P total en la dieta.

Cuadro 3.6. Consumo estimado de alimentos para los hatos lecheros modelo A y B.

Alimento	Finca A		Finca B			
	Consumo		Bajas Productoras		Altas Productoras	
	MS	P	Consumo		Consumo	
	kg/vaca/d	g/vaca/d	MS	P	MS	P
	kg/vaca/d	g/vaca/d	kg/vaca/d	g/vaca/d	kg/vaca/d	g/vaca/d
Concentrado Lechero	7.5	48.7	----	----	----	----
Concentrado alto En fibra (Bulky)	1.7	14.2	9.3	71.9	9.3	71.9
Pasto (gramíneas tropicales) ²	7.1	27.8	6.5	23.3	4.0	14.4
Heno de alfalfa	2.1	6.6	----	----	----	----
Ensilaje de Sorgo	----	----	----	----	3.0	6.9
Suplementos						
Minerales	----	----	----	----	0.20	1.6
Harina de pescado	----	----	----	----	0.23	1.2
Agua ³	----	0.01	----	0.01	----	0.01
Consumo total MS	18.4	97.2	15.8	95.2	16.8	96.1
Concentración P dieta (g P/kg)	5.29		6.02		5.73	

¹Valores obtenidos mediante entrevista.

²Estimado por diferencia de mediciones de disponibilidad de pasto antes y después de pastoreo.

³Contenido de P en el agua consumida por las vacas.

El consumo total de MS para el grupo de bajas productoras (finca B), fue estimado en 15.8 kg, 6.46 de pasto y 9.34 kg de alimento concentrado por día. El consumo de P estimado para el grupo de vacas bajas productoras fue de 95.2 g de P/día. Para este grupo de vacas, el 41% del consumo total de MS proviene del alimento concentrado contribuyendo un 76% del P total consumido en la dieta. Mientras tanto el consumo de MS para el grupo altas productoras fue estimado en 16.77 kg/día; distribuido en 4.0 kg de pasto, 3.0 kg de ensilaje de sorgo, 9.34 kg de concentrado y 0.43 kg de minerales por día. El consumo total de P se estimó en 96.1 g/vaca/día. Para este grupo de

vacas, el 76% del consumo total de MS de la dieta proviene de alimentos importados a la finca, o un 85% del P total de la dieta consumida. El nivel de suplementación de concentrado para las vacas bajas productoras fue de 0.47 y el de las vacas altas productoras fue de 0.64 kg de concentrado por kg de leche producida. La eficiencia de utilización de alimento concentrado fue estimada en 1.55 y 2.77 kg de leche/kg de concentrado, para el grupo de bajas y altas productoras. El valor para el grupo de altas productoras es considerado eficiente para las condiciones tropicales de P.R. (Ruiz et al., 2001).

La diferencia en el P total consumido observada entre los grupos en la finca B, fue mínima; sin embargo el grupo de altas productoras presenta una menor concentración de P total en la dieta.

Comparando ambas fincas, se observó una mayor concentración de P en la dieta en la finca B, debido a una mayor utilización de alimento alto en fibra tipo “Buky” el cual contiene mayor concentración de semilla de algodón y subproductos los cuales son altos en P. En adición, en la finca B se suplementa la dieta con una premezcla de minerales a las vacas altas productoras. Los valores de la concentración de P en la dieta demuestran que ambas fincas alimentan el P en exceso de los requisitos nutricionales (NRC, 1989). Para vacas lecheras de 600 kg de peso vivo y produciendo entre 10 y 50 kg de leche por día se recomienda contener una dieta con concentraciones entre 2.1 y 4.1 g P/kg de MS consumida (Cuadro 2.1) dependiendo del consumo de MS de los animales.

En promedio, sobre un 60% de los alimentos consumidos en las dos fincas modelos, fueron importados a la finca. La mayor aportación de P, 65 y 75% de P en la dieta, de los dos hatos experimentales proviene de los alimentos concentrados importados

a la finca. Estos datos son similares a lo encontrado por Erb (2002), cuando reportó que más del 50% del P importado en las vaquerías del noreste de Wisconsin proviene de suplementos proteicos importados a la finca.

La cantidad de P total en la dieta de las fincas A y B fue similar a lo reportado en la literatura por Shaver y Howard, (1995) en Wisconsin, donde reportaron promedios de 5.7 g P/kg y a los promedios de 6.0 g P/kg para vaquerías del Sur de la Florida (Morse et al., (1994). Estos valores son muchos más altos que los promedios encontrados por Bertrand et al., (1999) cuando reportaron un 21% de exceso de P sobre los requerimientos nutricionales en 27 vaquerías comerciales en Carolina del Sur. Otros (Sansinena et al., 1999) reportaron un exceso de 30% mediante una encuesta realizada a un grupo de nutricionistas del sur de los EE.UU. Recientemente se han reportado reducciones en la concentración de P en los hatos comerciales de EE.UU. Powell et al. (2002) reportaron concentraciones de P en la dieta de vacas en lactación de 4.0 g P/kg en vaquerías de Wisconsin. Dou et al., (2003) reportaron valores de 4.42 g P/kg en vaquerías de Maryland y Virginia, equivalente a solo 33% de P en exceso a los requisitos nutricionales de P según el NRC (2001). Los datos observados en las fincas modelos (A y B) se encuentran en el rango superior de los 2.3 a 8.5 g P/kg reportados por varios autores en vaquerías para las vacas en producción (Powell et al., 2001 y Dou et al., 2003). Estos datos sugieren claramente que en las dos fincas modelos estudiadas se provee exceso de P en las dietas para vacas lecheras, lo cual con toda probabilidad resultará en un aumento en el nivel de excreción de P en las heces.

3.3.7. Balance de fósforo en los animales de la finca

El balance de P se estimó usando como base el consumo de P (g P/día) y cuantificando las salidas de P incluyendo lo utilizado para mantenimiento, crecimiento, preñez y el P excretado en la leche según sea el caso de los animales. El requerimiento de P para mantenimiento es necesario para reponer el P excretado en la saliva, células epiteliales del intestino, P de las secreciones digestivas y P de residuos excretados por los microorganismos y en la orina. El requerimiento total, además del necesario para mantenimiento, incluye P para crecimiento, preñez y la mayor parte para la producción de leche.

En la finca A, las vacas utilizaron en promedio 43.06 g P/día para mantenimiento y lactación, o sea el 44% del P total consumido en la dieta (cuadro 3.7). El requerimiento nutricional de P para este grupo de animales se determinó dividiendo el P utilizado para mantenimiento y el producido en la leche por el coeficiente de absorción, 0.70 (Beede y Davidson, 1999). El requerimiento nutricional de P calculado de esta manera fue de 61.52 g P/día. La diferencia del P consumido y el requerido, o el exceso en la dieta fue 35.69 g P/día. Esto equivale a una excreción de P 13.03 kg/vaca/año en exceso de los requisitos nutricionales de las vacas. La excreción total fue estimada en 28.35 kg P/vaca/año. O sea, que el 46% del P total excretado es en exceso a los niveles de excreción necesarios para cubrir los requerimientos nutricionales.

Cuadro 3.7. Balance de P en vacas lecheras en las vaquerías modelos.

	Finca A	Finca B	
		Bajas productoras	Altas productoras
Consumo P (g/vaca/día)	97.21	95.19	96.06
P para el mantenimiento ¹ (g/vaca/día)	23.51	20.37	21.55
P para la leche ² (g/vaca/día)	19.55	14.55	25.91
Requerimiento total de P ³ (g/vaca/día)	43.06	34.92	47.46
Utilización de P ⁴ (%)	44.3	36.68	49.41
Requerimiento de P de la dieta ⁵ (g/vaca/día)	61.52	49.88	67.80
Excreción total de P⁶			
g P/vaca/día	77.66	80.64	70.15
Kg P/vaca/año	28.35	29.43	25.60
kg P/finca/año	3,401.64	12,992.6	
kg P/ha/año	58.65	41.91	
Excreción total de P en exceso⁷			
g P/vaca/día	35.69	45.31	28.26
kg P/vaca/año	13.03	16.54	10.31
kg P/finca/año	1,563.22	6,029.73	
kg P/ha/año	26.95	19.45	

¹P para mantenimiento (g/día) = 1.2 X DMI (kg/día) + 0.002 X BW (Kg)

²P para lactación (g/día) = Producción de leche X 1.0 g P leche

³Requerimiento total P = P mantenimiento + P en la leche

⁴% utilización = requerimiento P total/consumo P

⁵Requerimiento de P de la dieta = Requerimiento total ÷ 70% de eficiencia.

⁶Excreción total de P = Consumo de P – P en leche

⁷Excreción de P en exceso = Consumo de P - P requerido en la dieta

En la finca B, el P utilizado para mantenimiento y producción de leche fue de 34.92 g P/día para el grupo de bajas productoras y 47.46 g P/día para el grupo de altas productoras para una utilización de P para mantenimiento y producción de leche de 37 y 49%, respectivamente. Estas vacas consumieron un exceso de 91 y 41% de P sobre los requisitos nutricionales para los grupos de bajas y altas productoras, respectivamente. El P excretado en exceso fue de 16.53 y 10.31 kg/vaca/año para los grupos de vacas bajas y

altas productoras, respectivamente. El P total excretado anualmente fue estimado en 29.43 y 25.60 kg P/vaca para los grupos de bajas y altas productoras. El P consumido en exceso representó entre 40 y 56% total excretado. El P excretado en exceso fue sustancialmente mayor en el grupo de vacas bajas productoras. Esto como consecuencia de una menor producción de leche (Cuadro 3.1) comparado con el grupo de vacas altas productoras y a una mejor utilización de P por este grupo de animales.

El balance de P para los otros animales (hurras, novillas becerros y toros) presentes en la finca A fue determinado utilizando como insumos el P consumido en el concentrado y el consumido en el pasto (Cuadro 3.8). Para este grupo de animales se estimó el consumo de pasto en base al 2% de peso vivo de los animales, utilizando 0.4 kg como tasa de sustitución por consumo de concentrado (Fike et al., 2003). Comparado con los requisitos nutricionales (Cuadro 2.5) se estimó concentraciones de P total en la dieta que fueron 172, 40 y 26% más altos para toros, hurras y novillas, respectivamente. Este grupo de animales no lactantes excretan aproximadamente 815.2 kg P/finca/año (14.05 kg P/ha/año). Sumando esta cantidad, con la cantidad de P excretado por las vacas lactantes la excreción total de la finca debido a la excreción de los animales fue de 72.70 kg P/ha/año (27.56 kg/ha/año) El 81% del total proviene del P excretado por las vacas en lactación.

El balance de P para los animales no lactantes en la finca B, se resume en el Cuadro 3.8. Este grupo de animales también presentaron excesos en las concentraciones de P de 73, 11 y 42% sobre los requisitos nutricionales para este mineral (NRC, 2001) (Cuadro 2.5). Este grupo de animales excretaron un total de 6,211.6 kg P/año. La excreción total por unidad de tierra bajo pastoreo de las vacas lactantes y los otros

animales se estimó en 62.0 kg P/ha/año. El 78% de la excreción total proviene de las vacas en lactación.

Cuadro 3.8. Balance de P de los animales no lactantes en las fincas modelos

Finca	Consumo	P	Excreción	Excreción	Excreción	Excreción
	P	Requerido	P total	P exceso	P total	P exceso
	g P/día				kg/finca/año	
A						
Toros	53.5	21.36	48.03	32.14	35.06	23.46
Hurras	46.21	20.87	43.71	22.34	462.67	236.47
Novillas	24.73	14.79	18.16	9.94	291.58	159.64
Becerros	19.27	13.19	11.81	6.08	25.86	13.32
Total					815.17	432.88
kg P/ha/año					14.05	7.46
B						
Toros	41.85	24.07	36.37	17.78	92.94	45.43
Hurras	36.45	20.57	33.95	15.88	2478.35	1738.86
Novillas	27.81	15.89	23.67	11.92	2591.5	1305.24
Becerros	14.61	12.74	9.58	1.87	1048.79	204.77
Total					6,211.58	3,294.29
kg P/ha/año					20.03	10.62

Requerido de P (g P/día) = P utilizado para crecimiento y preñez ÷ 70% de eficiencia.

Excreción de P total (g P/día) = P consumido – P absorbido para crecimiento y preñez.

Excreción de P exceso (g P/día) = P consumido – P requerido en la dieta

Excreción total (kg P/) = Excreción total multiplicado por el número de cada categoría animal de la finca (Cuadro 1)

Los valores obtenidos para excreción total de P para las vacas lecheras en este estudio son similares a los estimados de 30 y 32 kg P/vaca/año reportados por Sotomayor et al. (2003) cuando simularon dos hatos lecheros característicos de Puerto Rico. Los datos reportados tanto por Sotomayor et al. (2003) y los obtenidos en este estudio fueron más altos o están en el límite superior de los valores (19 a 35 kg

P/vaca/año) reportados por Powell et al. (2001), Spears et al. (2003) (10.7 kg P/vaca/año) y los reportados Van Horn et al. (1991) (18 a 32 kg P/vaca/año). Según investigaciones recientes, la excreción fecal de P para una vaca lechera alta productora alimentada con un cantidad adecuada de P debe ser aproximadamente 21 kg P/vaca/año (Wu y Satter, 2000 y Powell et al., 2001). La diferencia entre la recomendación de P y el nivel de excreción reportado en este estudio se debe principalmente al alto contenido de P en las dietas de las vacas lecheras y en particular al alto contenido de P en los alimentos concentrados y a una menor producción de leche comparado a los niveles de producción en los hatos de E.E.U.U.

Estos datos demuestran que la alimentación de vacas lecheras en el trópico tiene el potencial de contribuir a la excreción de exceso de P y la pérdida del mineral en las fincas. Particularmente esto puede ocurrir cuando los excesos en la alimentación sobre los requisitos de P ocurren en todos los animales presentes en la finca. Es de suma importancia considerar y contabilizar la aportación de P de estos animales ya que contribuyen a la acumulación de este mineral en los hatos lecheros.

3.3.8. Concentración de fósforo en las heces fecales

El contenido de P de las heces fecales se presenta en el cuadro 3.9. Los resultados no demuestran gran diferencia entre fincas, debido a que el promedio obtenido fue de 12.41 g P/kg para la finca A y 12.88 g P/kg en la finca B. Sin embargo, se observó una diferencia de 2% en la concentración de P en la heces fecales de los grupos de vacas bajas (13.9 g P/kg) y altas (11.9 g P/kg) productoras de la finca B. Esta diferencia se debe a que el grupo de vacas bajas productoras produce menor cantidad de leche y se

alimenta con una dieta que da mayor concentración de P en comparación con el grupo de vacas altas productoras.

Cuadro 3.9. Concentración de P (g/kg) en las heces fecales en las fincas modelos^{1,2}.

	Finca A (g/kg)		Finca B (g/kg)	
	P	P	P	P
Heces	total	disuelto	total	disuelto
Promedio	12.41	3.41	12.88	3.00
Mínimo	9.35	2.48	8.90	1.67
Máximo	14.75	5.39	16.55	5.13

¹Base seca

²Diez muestras en cada finca

Los datos reflejaron que la concentración de P en las heces fecales fue alta en comparación con lo reportado en la literatura 6.8 a 9.0 g P/kg (Tomlinson et al., 1996), 6.7 a 9.3 g P/kg, (Wu et al., 2000, 2003) y 5.84 a 12.84 g P/kg, (Chapuis et al., 2004). El alto contenido de P en las heces fecales es consistente con la alta concentración de P en la dieta y el alto nivel de excreción de P documentado en las dos vaquerías modelo. Además, está relacionado a una baja producción de leche, en comparación a los promedios reportados por los autores citados anteriormente lo cual tiene como consecuencia un mayor exceso de P, dada las altas concentraciones de P en la dieta.

Alimentar altas concentraciones de P aumenta el P en las heces. Una ración con exceso de P también reduce la relación N:P de las heces, haciéndola mucho mas baja que los requerimientos de N:P de la mayoría de los cultivos (Powell et al., 2001). Por consiguiente la aplicación de estiércol para suplir las necesidades de N de los pastos tendrá como consecuencia una acumulación excesiva de P en los suelos. El tipo y la cantidad de P en la dieta de las vacas también afecta la cantidad y la forma del P

excretado en las heces. La suplementación de P en exceso incrementa el contenido total de P como también el contenido de P soluble en el estiércol (Powell et al., 2001; Ebeling et al., 2002; Dou et al., 2002). El P soluble es mayormente de P inorgánico y está altamente disponible para ser removido en las aguas de escorrentía y utilizado por las algas verde azules, por lo tanto esta relacionado a la eutrofización de los cuerpos de agua.

Dou et al. (2002), estudiaron la solubilidad del P en el estiércol de vacas lactantes a diferentes concentraciones de P en la dieta concluyeron que la fracción soluble de P en las heces fecales aumenta proporcionalmente con la concentración de P en la dieta. Los autores mencionaron que una medida simple de P inorgánico en las heces es un buen indicativo de exceso de P en la dieta. Los datos de tres estudios diferentes (Dou et al., 2002) sugieren que una medida de aproximadamente 2 g/kg de heces fecales como P inorgánico puede ser una buena referencia para indicar exceso de P en la dieta. Powell et al. (2001) reportaron que el P soluble es 30 a 35% del P total en las heces fecales y que ésta fracción está altamente correlacionada con un aumento en el consumo de P en la dieta. Dou et al. (2002) también reportaron valores similares cuando observaron que 37 a 58% del P total en el estiércol es P soluble. En comparación, las dos fincas modelos presentaron un rango de 20 a 30% de P soluble del total excretado (Cuadro 2.9). Esta menor concentración de P soluble comparado a lo reportado en la literatura (Dou et al., 2002 y Powell et al., 2001) podría estar relacionado a que la mayoría de los estudios citados utilizaron P inorgánico para aumentar los niveles de P en la dieta, y por consiguiente reportaron mayor excreción de P en la forma soluble. Los niveles de P en las heces en fincas modelos se debieron mayormente al P orgánico presente en los alimentos y en menor grado a la suplementación mineral en la dieta.

3.3.9. Balance de fósforo a nivel de finca

El estimado de los insumos de P provenientes de los alimentos para todo el ganado en la finca A, fue de 3,401 kg P/año (cuadro 3.10). El P en el alimento constituyó la mayoría de los insumos de este mineral en la finca. La segunda aportación en importancia fue la del fertilizante aplicado a los pastos, esta fue en total 1,417 kg P/año para toda la finca. Las salidas de P fueron leche vendida y por la salida de animales de la finca. La cantidad de P en la leche producida fue de 856 kg P/año. La salida de animales se estimó basado en un 30% de descarte del hato lechero, o sea unas 36 vacas al año. La cantidad de P en los animales de descarte se estimó asumiendo un peso promedio de 454 kg/vaca y multiplicando el peso de las 36 vacas por 7.7 g P/kg de peso vivo del animal (Cerosaletti et al., 2003). El total de P exportado con los animales fue de 126 kg P/año. La salida de becerros machos se estimó en 60 becerros/año, asumiendo que el 75% de las vacas totales van a tener un parto durante el año y que el 50% de los partos son machos con un peso aproximado de 39 kg. Asumiendo un contenido de 8.3 g P/kg de peso vivo (Cerosaletti et al., 2003), la salida de P debido a la venta de becerros machos fue estimada en 19.4 kg/año. El balance total para la finca se estimó en 3,816 kg/año, equivalente a un excedente de 65.80 kg P/ha/año, para una eficiencia de utilización de P en la finca de 21% (Cuadro 3.10). La eficiencia se refiere a la fracción del P utilizado en la finca para producción y mantenimiento de los animales.

Cuadro 3.10. Balance total de P anual en la finca para las dos vaquerías modelos.

	Finca A	Finca B
Entradas P		
Alimento concentrado (kg P/año)	3,401	17,277
Fertilizante (kg P/año)	1,417	7,573
Total (kg P/año)	4,818	24,850
Salidas P		
Leche (kg P/año)	856	3853
Animales (kg P/año)	126	423
Beceros (kg P/año)	19.42	91.28
Total (kg P/año)	1,002	4,368
Diferencia (kg P/año)	3,816	20,482
Exceso (kg P/ha/año)	65.80	66.07
Eficiencia utilizacion¹	0.21	0.18

¹Eficiencia = P utilizado en la finca completa

En la finca B, al igual que la finca A, el mayor insumo de P fue debido a la importación de alimento a la finca. El estimado de la aportación de P en los alimentos fue de 17,277 kg P/año. La segunda aportación en importancia fue la del fertilizante, la cual se determinó en 7,573 kg P/año. Las salidas de P consideradas fueron la leche vendida y la salida de animales (descarte y becerros) de la finca. La cantidad de P en la leche producida fue de 3,853 kg P/año. La salida de animales se estimó basado en un 25% de descarte del hato lechero, o sea unas 121 vacas al año. El total de P eliminado con los animales de descarte fue de 423 kg P/año. La salida de P debido a la venta de becerros machos se estimó en 91.28 kg P/año. Se utilizó la misma metodología utilizada anteriormente (finca A) para estimar las salidas de P. El balance total de P para la finca

B, se estimó en 20,482 kg P/año, equivalente a un excedente de 66.07 kg P/ha/año (Cuadro 3.10).

Basado en los estimados de insumos de P en la finca, la utilización de P inorgánico es innecesaria ya que el P excretado en las heces pudiera suplir las necesidades del pasto. La reducción del P excretado implica un menor costo de operación y disminuye del balance de P en la vaquería.

3.3.10. Flujo del fósforo en las fincas

El flujo del P en la finca se presenta en la Figura 2.1. En la finca A, el 54% del estiércol total producido por las vacas lecheras fue aplicado directamente al suelo (13 hrs/día pastoreo), durante el pastoreo. La porción restante (46%) del estiércol generado por las vacas lecheras fue almacenada en la charca de oxidación. Esta fracción fue aplicada a los predios de pastoreo mediante riego.

La aportación de P en los residuos aplicados directamente a los pastos en la finca A, se estimó en 1,837 kg P/finca/año ($3,402 \times 0.54$) para el grupo de vacas lecheras más 780 kg P/finca/año para el grupo de animales no lactantes. Para el grupo de los animales no lactantes bajo pastoreo se asumió que todo el estiércol producido llegó directamente al predio. El total de P estimado en heces depositadas directamente mediante el pastoreo fue de 2,617 kg P/finca/año (45.12 kg P/ha/año). El restante P excretado por los animales que no pastorean (toros y becerros) y el estiércol generado en la sala de espera y ordeño es equivalente a 1,600 kg P/año que fueron almacenados en la charca de oxidación. La aplicación de los residuos contenidos en la charca de oxidación en la finca A, se realizó una vez por mes y se utilizaron 10 estaciones de riego para regar 8 predios. La

concentración de P en el agua de la charca de oxidación utilizada para riego se presenta en el Cuadro 3.11.

Cuadro 3.11. Concentración de P en la charca de oxidación finca A. Valores expresados en promedios obtenidos de tres muestreos realizados.

Tiempo ¹	%	P total	P disuelto	pH
	Sólidos Totales	mg P/L	mg P/L	
0 min.	0.31	9.23	3.5	7.36
30 min.	1.75	40.38	5.76	7.28
1h	1.91	42.35	6.74	7.35
1h 30min.	1.78	42.25	8.72	7.40
2h	1.71	----	6.42	7.45
2h 30min	1.72	42.58	5.69	7.47
3h	1.83	47.72	6.05	7.51
Aplicado ²	2.34	42.81	11.91	7.54

¹Tiempo de agitado del contenido de la charca de oxidación.

²Aplicado directamente al predio

En promedio, la concentración de P en el agua de la charca aplicada a los predios fue de 4.28×10^{-5} kg P/litro de agua aplicada. Esto equivale a una aplicación estimada de 896 kg P/año distribuidos en 8 predios (56 kg P/ha/año). La aportación del P inorgánico en el fertilizante (15-5-10) fue de 24.43 kg P/ha/año. El total de P aplicado a los pastos en base a la capacidad total de la finca fue de 4,930 kg P/año (85.00 kg P/ha/año).

El consumo de pastos (incluyendo todos los animales bajo pastoreo) en la finca A fue estimado en 8,702.4 kg MS/ha/año, equivalente a un consumo de P promedio de 30.94 kg P/ha/año. La diferencia entre el P aplicado (85.00 kg P/ha/año) y el P reciclado por el pasto (30.94) fue de 54.06 kg P/ha/año. Aproximadamente 696 kg P/finca/año no fue contabilizado y se asume que se mantiene almacenado en la charca de oxidación, para un total de P en exceso de 65.80 kg P/ha/año. Este exceso (54.06 kg P/ha/año) estaría

disponible en el suelo y con una alta probabilidad de salir fuera de la finca a través de la escorrentía y sedimentos, siendo un posible contaminante de los cuerpos de agua.

El exceso de P observado en la finca A, justifica la pérdida de P reportada en la escorrentía por Ortega (2005). Ortega estudió las pérdidas de P donde se aplicó estiércol en la finca A, el promedio de 12 eventos de escorrentía fue de 2.79 y 2.11 mg P/L para P total y P disuelto respectivamente. Estos datos son similares a lo reportado por Ebeling et al. (2002) y Dou et al. (2002) cuando reportaron que la mayor fracción de P en la escorrentía es la de P soluble.

La entrada anual de P en el estiércol de las vacas lecheras para la finca B, fue estimada en 6,537 kg P/finca/año más 3,514 kg P/finca/año contribuidos por el grupo de animales no lactantes para un total de 10,051 kg P/finca/año (32.42 kg P/ha/año).

Durante la aplicación se determinó un promedio de P aplicado en el predio de 2.16×10^{-5} kg P/L (Cuadro 3.12). Esto equivale a una aplicación de 8,483 kg P/año (27.36 kg P/ha/año). La aportación del P inorgánico en el fertilizante (15-5-10) fue de 24.43 kg P/ha/año. El total de P aplicado en los pastos de la finca fue estimado en 84.21 kg P/ha/año.

Cuadro 3.12. Contenido de P en la charca de oxidación de la finca B.

Tiempo ¹	%	P		pH
		Sólidos totales	total mg/L	
0 min.	0.31	5.02	3.27	7.03
30 min.	1.98	10.78	3.44	7.03
1h	0.49	11.26	4.42	6.96
1h 30min	0.68	---	4.87	6.99
2h	0.76	---	3.5	7.02
2h 30min	0.86	12.47	4.76	7.05
3h	2.06	21.06	7.85	7.07

El consumo de pastos incluyendo, todos los animales bajo pastoreo, en la finca B fue estimado en 7,984.33 kg MS/ha/año para un promedio de P removido en el pasto de 25.64 kg P/ha/año. La diferencia entre el P aplicado y el P reciclado en el pasto fue de 58.57 kg P/ha/año. Aproximadamente 7.5 kg P/ha/año no pudo ser contabilizado y se asume que se mantiene almacenado en la charca de oxidación, para un total de P en exceso de 66.07 kg P/ha/año. Este exceso estaría disponible en el suelo y con una alta probabilidad de salir fuera de la finca a través de la escorrentía y sedimentos, siendo un posible riesgo contaminante de los cuerpos de agua.

El balance positivo de P en este estudio 65.80 y 66.07 kg P/ha/año para las fincas A y B respectivamente fueron tres veces más altos que los 17 kg P/ha/año reportado por Erb (2002) para fincas lecheras en Wisconsin y que las 23 a 31 kg P/ha para fincas de Reino Unido y Holanda por Valk et al. (2000). Powell et al. (2002) reportaron un rango de 19 a 40 kg P/ha para vaquerías comerciales de Wisconsin. Esta diferencia en el excedente de P probablemente es consecuencia de varios factores entre ellas la mayor concentración de P presente en las dietas por los hatos lecheros locales, a la menor producción de leche y a la alta carga animal y pequeño tamaño de las fincas locales, comparado con las vaquerías en la literatura citada.

3.3.11. Fósforo en el suelo de las fincas modelos

Los resultados de las pruebas de suelo para P en la finca A, se presenta en el Cuadro 3.13. Se analizaron 11 predios que fueron utilizados para apacentar las vacas en lactación. En solo un predio (10 cuerdas) de los muestreados no se aplica estiércol de la charca de oxidación. Los predios donde se aplica los desperdicios de la charca de oxidación presentaron valores de P total altos (profundidad de 0-7 cm) en la mayoría de

ellos mayores al nivel crítico de 35 mg P/kg (Olsen) (Muñiz-Torres, 1992). Los niveles observados son considerados de mediana a alta susceptibilidad de pérdida de P del suelo (Sotomayor et al., 2004). Este valor crítico, es determinado en base a la respuesta del cultivo a los niveles de P en el suelo, alta respuesta 12, media respuesta 12-35 y baja respuesta >35 mg P/kg. La susceptibilidad de pérdida de P del suelo se considera baja con concentraciones <12 mg P/kg, se considera de mediana con concentraciones de 12-35 mg P/kg, de alta susceptibilidad con valores de entre 36 y 123 mg P/kg, de muy alta con valores de entre 124 y 179 mg P/kg y de extremadamente alta susceptibilidad de pérdida de P del suelo con valores >179 mg P/kg. El predio donde no se regó estiércol reflejó concentración de 28.9 mg P/kg, inferior al valor crítico agronómico y de mediana susceptibilidad a pérdida de P. El predio 2-pisteros actualmente no recibe aplicación de residuos sin embargo los recibió hace algunos años, por lo tanto justifica el alto contenido de P encontrado en el suelo (190 mg/kg) lo cual lo clasifica en una categoría extremadamente alta. Los 9 predios restantes reciben aplicaciones continuas del efluente de la charca de oxidación. De acuerdo al contenido de P en el suelo uno de los predios demostró una susceptibilidad mediana, 5 altas, 2 muy altas y 1 extremadamente alta a pérdidas de P por escorrentías.

Cuadro 3.13. Prueba de suelo para predios finca A. Predios de vacas lecheras y horras. Prueba realizada por el método Olsen (mg/kg)

Predio	Profundidad de muestreo		pH	Símbolo de suelo	Serie de suelo
	0 -7 cm	0 -15 cm			
Pileta Loma*	95.24	143.48	7.30	SrE	Soller
10 cdas ¹	28.9	37.35	7.36	CcB	Camaguey
Pasillo*	157.94	107.44	7.42	SrE	Soller
Corazón*	92.32	83.2	7.42	SrE	Soller
Cuadro*	122.95	133.4	7.26	SrE	Soller
Merker*	53.41	32.81	7.45	CcB	Camaguey
Loma*	269.78	215.84	7.30	SrE	Soller
Pileta*	130.33	77.6	7.25	SrE	Soller
2 pisteros ²	190.95	194.25	7.30	SrE	Soller
Toronjo ^{a*}	35	---	7.20	SrE	Soller
Cementerio ^{a*}	46.36	---	7.20	SrE	Soller

¹Predio solo recibe fertilizante 15-5-10

²Actualmente no recibe residuos de la charca de oxidación.

^aFuente: Ortega et al., 2005, valores máximos fue de 105.12 (toronjo) y 402.6 mg/kg (cementerio)

*Reciben aplicaciones de estiércol almacenados en la charca de oxidación

El análisis de pH de los suelos en los 11 predios muestreados refleja un rango de 7.28 a 7.54. Los valores de pH neutro-alcalinos obtenidos para esta finca se justifican debido a que el tipo de suelo presente en la finca es de clasificación Soller (SrE) (Cuadro 3.13). Este suelo es un complejo de roca-tierra caliza, el cual se compone de Soller arcilloso y tierra caliza. A estos niveles de pH el P en los suelos esta disponible a las plantas, sin embargo, no tienen una disponibilidad óptima. La disponibilidad óptima del P en el suelo se encuentra a rangos de pH de 6.0 a 7.0 (Havlin et al., 1999). Gran parte del P estarán agarrados a precipitados de Ca-P presentes en el suelo Soller, disminuyendo su disponibilidad en la solución del suelo. La aplicación de fertilizantes fosfatados en estos predios no es necesaria ni recomendada para la producción de forrajes, ya que, se

estaría contribuyendo a aumentos en la acumulación del P y no en la disponibilidad de este mineral en la solución del suelo.

Los resultados de los análisis de P en el suelo para la finca B se presentan en el Apéndice 1.2. Los 10 predios muestreados, en solamente uno, la concentración de P en el suelo fue menor que el nivel crítico agronómico (Figura 3.4). Cuando se compararon estos resultados con los obtenidos en los mismos predios en el año 2002, se observó un aumento en las concentraciones de P en los suelos en todos los cercados muestreados (Figura 3.4). En el predio Pileta, aun cuando no se aplicó residuos de la charca se aplicó gallinaza y se observó un aumento drástico en las concentraciones de P en los suelos (2.13 (2002) vs 28.55 (2004) mg/kg). Esta práctica demuestra claramente que el exceso de aplicación de P a través de fertilizantes orgánicos o efluentes de la charca de oxidación aumenta considerablemente las concentraciones de P en los suelos. Los valores de pH de los 10 predios muestreados fluctuó entre 6.34 a 7.05. Estos suelos tienen un rango de pH donde se obtienen óptima disponibilidad del P en el suelo, resultando en aumentos en la cantidad de P en la solución de suelo.

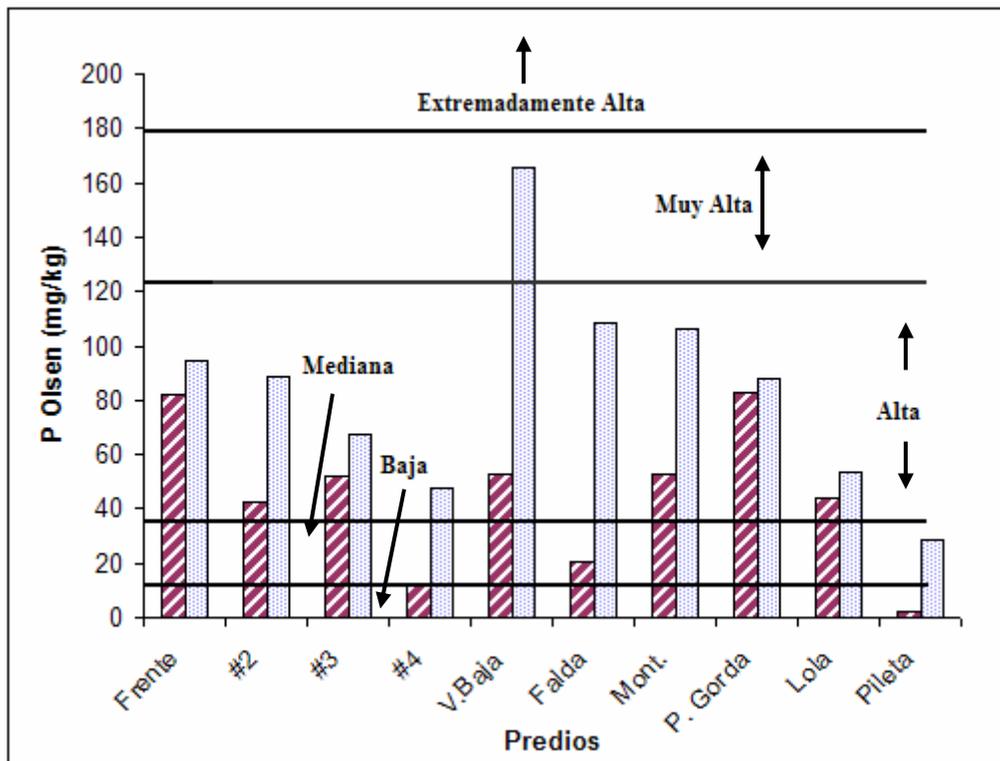


Figura 3.4. Análisis de P en el suelo en la finca B.

Análisis realizados en el año 2002 (////) y la prueba realizada durante este estudio 2004 (●●). Líneas (—) representan las categorías en base a susceptibilidad de pérdida de P. Baja susceptibilidad (<12 mg/kg) mediana susceptibilidad (12-35 mg/kg), alta susceptibilidad (36-123 mg/kg), muy alta susceptibilidad (124-179 mg/kg), extremadamente alta susceptibilidad (>179) (Sotomayor et al., 2004).

En ambas fincas lecheras (A y B) se demostró que los suelos donde se realiza la aplicación de estiércol de la vaquería sobrepasan los niveles críticos agronómicos de P (35 mg P/kg, Muñiz-Torres, 1992). La distribución de los predios y el análisis de los datos demostraron que a medida que el predio se aleja del área de almacenamiento de estiércol los niveles de P en el suelo se reducen. Por ejemplo, el predio con mayor contenido de P (269.8 mg/kg) en el suelo para la finca A, fue La Loma, que se encuentra a solo unos metros de la charca de almacenamiento, mientras que en la finca B, el predio

Vega Baja (165.28 mg/kg) es el más próximo a la charca de almacenamiento. Estos datos sugieren que los ganaderos realizan mayores aplicaciones de estiércol a los predios más cercanos y utilizan el sistema más como una manera de disponer de los residuos que para disponer de los nutrientes de una manera que maximice su utilización agronómica. Dada esta situación sería recomendable estudiar las posibles alternativas para aplicar el estiércol generado en las vaquerías a otras áreas de terreno en la finca que no reciben aplicación directa de los pisteros de riego. Esta alternativa ayudaría grandemente a disminuir la acumulación y el potencial de pérdidas de P en el suelo.

El exceso de P observado en las vaquerías es acumulativo con el tiempo. De seguir el manejo actual de los residuos en las fincas, se puede esperar un aumento gradual en las concentraciones de P en el suelo. Los aumentos de P en el suelo están relacionados con una mayor pérdida de P en la escorrentía superficial, llegando a los cuerpos de agua y promoviendo a la eutrofización de estos (Sharpley et al., 1996). Se ha documentado en la literatura que altas aplicaciones y desbalances de P en las vaquerías promueven un aumento de P en los suelos (Rotz et al., 2002; Powel y Van Horn, 2001) y aumentos en pérdidas de P en la escorrentía (Ebeling et al., 2002; Sharpley et al., 1994). En los establecimientos lecheros de Wisconsin el P en los campos (Bray) aumentó de un promedio de 34 mg/kg en el período de 1968-73 a 50 mg/kg en el período 1990-94 (Bundy, 1998). Combs y Peters, (2000) en el período de 1995-99 reportaron que el 75% de los suelos analizados tenían una concentración de P superior a la categoría “elevada” de 24 mg/kg y el 50% estaba por encima de la categoría “excesivamente elevada” con 28 mg/kg para la mayoría de los cultivos producidos en el estado. Estudios realizados por Martínez et al. (2001) en Puerto Rico reflejaron que el 75% de las muestras de suelo

analizadas donde se aplicó estiércol generado en las vaquerías del país exceden los niveles críticos agronómicos de 35 mg P/kg (Muñiz-Torres, 1992) con un rango de 35 a 100 mg/kg (Olsen). El rango de P en los predios evaluados en este estudio esta entre 28.55 a 269.8 mg P/kg.

Los resultados en las dos vaquerías indican que para lograr un mayor rendimiento en la producción de forrajes en las dos vaquerías estudiadas, no sería necesaria la aplicación de P en los fertilizantes inorgánicos. Esta práctica aumentaría el P en el suelo, aumentando las posibilidades de perdidas de P través de las escorrentías.

3.4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican claramente una sobre alimentación de P en los hatos lecheros estudiados. Las concentraciones alimentadas en la dieta total de las vacas lecheras excedían por más de 60% los requerimientos nutricionales (NRC, 2001). Las dietas de los otros animales en las fincas (no lactantes) también presentaron concentraciones de P en exceso de los requerimientos de (NRC, 2001). La mayoría de la MS consumida por las vacas en lactación (>60%) provienen de alimento concentrado importado. Estos concentrados aportan más del 70% del P consumido por los animales en la finca. La sobre alimentación del P en los hatos lecheros proviene mayormente de una alta concentración de este mineral en los ingredientes utilizados para la formulación de los alimentos concentrados. Este alto consumo de P resultó en una excreción de P en exceso de los requerimientos estimada en 13.03 y 13.43 kg/vaca/año para la finca A y B, respectivamente. Altas concentraciones de P en las dietas estuvo asociado con altas concentraciones de P en las heces fecales. Los promedios observados en las fincas A y B

fueron de 12.4 y 12.8 g P/kg, respectivamente; 4.0 kg mayor a los promedios reportados en la literatura.

Los estimados de disponibilidad de pasto para el período de julio a febrero demostraron alta disponibilidad la cual no limita el consumo de pasto de las vacas (>25 kg/vaca) para las fincas modelo. Estos valores sugieren un sub-pastoreo el cual puede ser corregido implementando mejores prácticas de manejo para incrementar la eficiencia en la cosecha del pasto.

El balance de P a nivel de finca demostró que el mayor insumo de este mineral en la finca provino de los suplementos concentrados. La segunda aportación en importancia fue la del fertilizante aplicado al pasto. El exceso de P por unidad de área por encima de los requerimientos para la producción de leche y lo exportado en los animales de venta y descarte se estimó en 65.80 y 66.07 kg P/ha/año para las fincas A y B, respectivamente. Este exceso de P en las fincas incrementa el P del suelo y representa la eventual contaminación de los cuerpos de agua. También, contribuye a pérdidas económicas en la finca ya que la mayor cantidad de P en exceso proviene la importación de los alimentos y fertilizantes para la alimentación animal y la fertilización de los pastos.

Los análisis de suelos para los predios bajo pastoreo y aplicaciones de desperdicios demostraron contener concentraciones de P a niveles donde el potencial de pérdidas de P a través de las escorrentías es sumamente alto. Los valores obtenidos y el análisis de estos predios demuestran claramente que el manejo de estiércol en las vaquerías estudiadas se realiza como una práctica de disponer del mismo y no por su valor agronómico.

Reducir la concentración de P en las dietas de las vacas lecheras y la disminución de fertilizantes inorgánicos en áreas con altas concentraciones de P son las alternativas más prácticas y de mayor impacto para reducir la excreción de P y el balance de P, disminuyendo el potencial de pérdidas del mineral a nuestro ambiente. Estas prácticas pueden reducir los costos de alimentación y de fertilización, promoviendo una mejor utilización de este mineral en la finca.

3.5. IMPLICACIONES

La alimentación y utilización del P se ha convertido en un tema de preocupación por la contaminación del medio ambiente. La disminución de tierras para la producción agrícola que enfrenta la industria lechera aumenta la posibilidad que esto se convierta en un problema de mayor importancia en el futuro. El mal manejo del P en las vaquerías eventualmente genera un problema de exceso de excreción, lo cual contribuye a aumentos en el potencial de pérdidas a través de las aguas de escorrentías y sedimentos. Los niveles de P en la dieta deben reducirse a niveles más bajos, cercanos a los recomendados por el (NRC, 2001). La disminución de P en la dieta reduce considerablemente el P excretado por los animales, a la misma vez aumenta la eficiencia de utilización de P y se reduce el balance de P a nivel de finca.

Maximizar la producción de los pastos es una manera efectiva de reciclar el P. Los pastos extraen el P del suelo; además reducen la velocidad de las escorrentías y la disminución de pérdidas de sedimentos de los cercados. Incrementar la carga animal de pastoreo en épocas de mayor abundancia de pastos, sería una alternativa para incrementar

la cosecha de pastos en estas épocas y por consiguiente una mayor remoción de P del suelo.

Aplicaciones de residuos de la charca de oxidación en solo una fracción de área de pastoreo en las fincas resultó en aumentos en la concentración de P en el suelo. El P en suelos con alta concentración tiene un alto potencial de moverse fuera de la finca a través de las aguas de escorrentías y sedimentos. Por ende, es recomendable evaluar predios en la finca con bajas concentraciones de P para aumentar el área de riego para así poder disponer del exceso mineral y evitar la acumulación de éste en los suelos. Para predios con altas concentraciones de P no es recomendable la aplicación de fertilizantes fosfatados, ya que este contribuye a aumentar los insumos de P y aumenta la acumulación de P en el suelo. Por lo tanto, se recomienda eliminar su aplicación en los predios donde se riegan los residuos de la charca.

Debido a la gran cantidad de P en el estiércol producido en las fincas, se debe estudiar la alternativa de exportar el estiércol fuera de la finca. Esta alternativa pudiera evitar la acumulación excesiva del mineral y reducir el riesgo de contaminación ambiental.

Estas alternativas de alguna manera u otra disminuyen el P utilizado en la finca. Estas prácticas deben implementarse para disminuir la acumulación de P y eventual reducción del balance de éste a nivel de finca. La disminución de P puede mejorar la eficiencia de utilización y la reducción de costos de producción en los hatos lecheros.

4.0. Balance de P en las vaquerías de Puerto Rico

4.1. Introducción

La alta carga animal (CA) y la poca disponibilidad de terreno para pastoreo a sido determinante en la intensificación de las prácticas de manejo alimenticio y de fertilización en las granjas lecheras de Puerto Rico. Estas prácticas han contribuido a aumentos en los insumos de P en las fincas lecheras las cuales están relacionadas con la alta concentración de P en excesos las dietas de los animales resultando en una mayor excreción de P, en aumentos en el P retenido en las fincas y aumentos en las concentraciones de P en el suelo.

Altas concentraciones de P en el suelo están relacionadas con un alto potencial para pérdidas de P en las aguas de escorrentías. Debido al potencial de contaminación que presentan las fincas lecheras por el exceso de P alimentado, es importante la realización de balances de P a nivel de finca, para desarrollar flujos de P que permitan implementar prácticas de manejo para reducir los balances positivos de P en las vaquerías locales.

Para este estudio se escogieron un total de 12 vaquerías representativas de las dos grandes zonas lecheras de Puerto Rico. En ellas se recopiló información para determinar el balance de P en las fincas. Con este estudio se espera determinar las áreas críticas en el manejo de la finca que necesitan ser modificadas para disminuir las concentraciones y eventual acumulación de P en los suelos. Particularmente se pretende evaluar el efecto de la CA en el balance de P en la finca.

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Selección de las fincas.

Se seleccionaron doce vaquerías localizadas en diferentes pueblos de la isla en base a región, carga animal, uso de record de DHIA, participantes del programa de manejo de desperdicios de USDA-NRCS y la disponibilidad del ganadero a participar y cooperar en el estudio. Todas las vaquerías utilizan pastoreo rotacional de sus predios. Las fincas encuestadas se encuentran en los municipios de San Sebastián, Quebradillas, Camuy, Arecibo, Hatillo, Utuado, Juncos, Las Piedras, San Lorenzo y Humacao (Figura 4.1) y representan las dos grandes zonas lecheras de P.R.

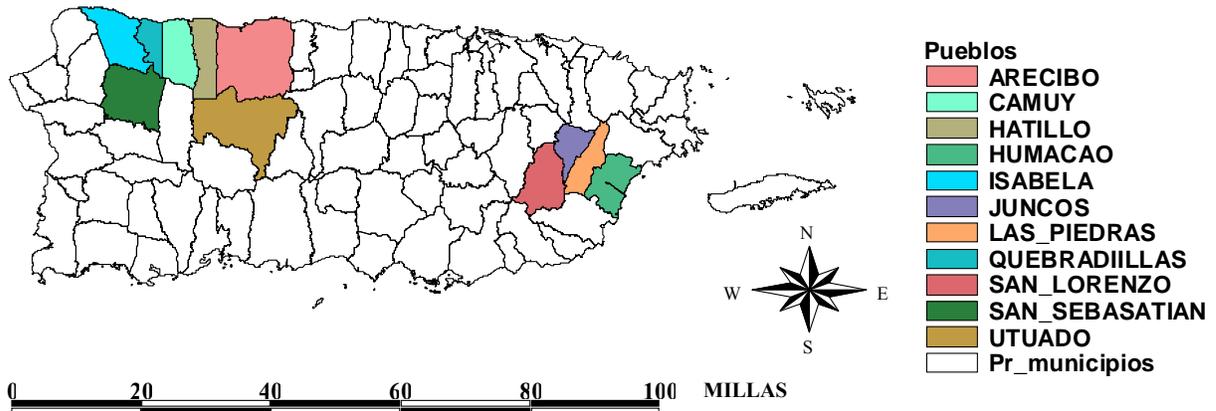


Figura 4.1. Distribución de los pueblos donde se encuentran las vaquerías seleccionadas

Para calcular la carga animal, el peso promedio de los animales fue estimado como sigue; 545 kg las vacas horras y lactantes, 227 kg para novillas de aproximadamente 8 meses de edad, 127 kg para becerros en corrales y 590 kg para toros. Se define la unidad animal como 455 kg de peso vivo.

Para lograr el objetivo del estudio se desarrolló un cuestionario (Apéndice 1.1) para evaluar el manejo general de la finca y la nutrición de los animales. En el mismo se incluyeron preguntas sobre: información general de la finca, área y utilización del terreno, número de animales, producción de leche, prácticas de manejo relacionadas a la alimentación y manejo de desperdicios y uso de fertilizantes.

Además, incluye la cantidad y el tipo de los alimentos utilizados para alimentar las vacas lecheras, así como los demás animales en la finca. El consumo de pastos fue estimado restando el consumo de heno, ensilaje y concentrados del total de materia seca consumida estimado mediante una ecuación desarrollada con datos previos (Ruiz, inédito). La ecuación es:

$$\text{DMI} = -2.4002 + 0.0678 \text{ WOL} + 0.687 \text{ FCM} + 0.00397 \text{ W}^{.75} + 26.81 (\text{FDN}^2)$$

Donde: WOL es la semana de lactación; FCM es la leche corregida para grasa; W es el peso y FDN es fibra detergente neutro de la dieta

4.2.2. Colección de muestras

En cada finca se recolectaron el día de la visita, muestras de alimentos concentrados, todo tipo de suplementos, muestras de pastos y de forrajes conservados como ensilaje de sorgo, heno, ensilaje de gramíneas tropicales y heno de alfalfa. Las muestras de pasto se obtuvieron del cercado donde las vacas pastarían próximamente. La

disponibilidad y biomasa de pasto, se determinó utilizando el disco calibrado (Santillan et al., 1979) como fuera explicado anteriormente.

Una muestra de suelo fue colectada en los mismos cercados donde se recolectaron las muestras de pasto. El muestreo se realizó de la misma manera que lo descrito anteriormente.

La muestra de concentrado fue colectada tomando 5 a 10 sub-muestras directamente de los silos de almacenamiento. En cada finca se recolectó una muestra de heces de aproximadamente 5 vacas en lactación. Las muestras fueron tomadas directamente del piso evitando que se contaminasen con orina y heces de otros animales. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas y congeladas hasta ser analizadas para P.

4.2.3. Análisis de laboratorio

Las muestras de alimento concentrado y forraje fueron secadas en un horno de convección a 60° C por 48hrs. Luego de secadas las muestras, fueron molidas a través de un tamiz de 2mm. Las muestras molidas fueron analizadas para composición química (proteína cruda (PC), fibra (FDN y FDA), P y otros minerales en el laboratorio comercial Dairy One INC, (Ithaca, New York). El P se analizó mediante el procedimiento de cenizas (Ryan et al., 2001) en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Industria Pecuaria del Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez.

Las muestras de heces fueron descongeladas, mezcladas a mano y secadas en un horno a 70° C para determinar MS. El P total se determinó por el método de cenizas (Ryan et al., 2001) utilizando Vanadato de amonio y Molibdato.

El P soluble fue determinado extrayendo 0.3g de la muestra seca de heces en 30ml de agua deionizada, luego de una hora de batido (Dou et al., 2002). Posteriormente la muestra fue centrifugada a 3000 rev/min por 10 minutos, filtrada por un filtro de nitrocelulosa de 0.45 μ m de diámetro utilizando vacío. La muestra fue leída mediante colorimetría con el color amarillo por el método de Vanadato de amonio y Molibdato para determinar P.

4.2.4. Análisis estadísticos

A través del cuestionario se obtuvieron datos sobre información general de la finca, alimentación animal, manejo de predios en pastoreo, manejo de desperdicios y manejo de fertilizantes. Los resultados obtenidos se expresaron en términos de promedios de las fincas encuestadas. Modelos de regresión fueron desarrollados (SAS, 2001) para investigar la relación entre: la carga animal y la concentración de P en la dieta con la excreción de P, la producción de leche y el balance de P en la finca. Las ecuaciones para la estimación de biomasa con los datos obtenidos de las mediciones del disco se realizó con el modelo general lineal (Proc. GLM) (SAS, 2001).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Información general de las fincas encuestadas

La raza Holstein es la raza predominante en las vaquerías encuestadas. Nueve de las fincas reportaron hatos con 100% vacas Holstein, mientras que en solo tres de los hatos lecheros, reportaron tener entre 5 a 10 vacas de la raza “Pardo Suizo” y el resto de la raza Holstein. Todas las fincas encuestadas operan bajo un sistema de pastoreo rotacional con suplementación con alimentos concentrados. De las 12 fincas, solo en dos hatos el 100% de los animales eran vacas en lactación, el restante de los hatos incluían además de las vacas en lactación, vacas horras, novillas, becerros y toros. Once vaquerías suplen alimentos concentrados individualmente en la sala de ordeño. Una finca reportó la utilización de concentrado alto en fibra “Bulky” (AAF) como único suplemento concentrado. En siete vaquerías, además del concentrado lechero, utilizan AAF ofrecido en la sala de espera antes del ordeño. Dos fincas suplementan el pastoreo con heno de gramíneas tropicales, dos con ensilaje de sorgo, una con heno de alfalfa y otra con ensilaje de gramíneas tropicales. Dos fincas lecheras reportaron alimentación de ración completa (TMR) ofrecidos a las vacas lactantes en la sala de espera y en el área de confinamiento “free stall” antes del ordeño. Una vaquería suplementa su ración completa con una premezcla de minerales y la otra suplementa con minerales y harina de pescado. En ocho vaquerías se utiliza aplicaciones de fertilizantes inorgánicos para los pastos, las restantes cuatro no utilizan fertilizantes inorgánicos.

En todas las fincas estudiadas, el estiércol generado por las vacas lecheras y colectado en la sala de espera y ordeño es almacenado en la charca de oxidación. En

todas las fincas, estos efluentes de la charca son aplicados mediante pisteros distribuidos en diferentes predios utilizados en su mayoría para el pastoreo de vacas lecheras.

Las fincas estudiadas, en promedio tienen una cabida de 72.63 ha con un rango de 7.20 a 310 ha. El número promedio de animales por ható fue de 360 con un rango de 135 a 1,289 animales totales en las fincas. El promedio de vacas en ordeño fue de 198 con un rango de 55 a 482 vacas. La producción de leche promedio fue de 18.4 kg con un rango de 14.1 a 25.91 kg/vaca/día (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Información general de las doce fincas estudiadas

Parámetro	Promedio	D.E.	Mediana	Mínimo	Máximo
Área total (ha)	72.63	78.46	56	7.2	310
Animales totales	361	335.53	209	135	1289
Vacas lecheras	198	125	148.5	55	482
Carga animal total (UA/ha)	7.53	6.8	4.8	1.23	27.5
Producción de leche (kg/vaca/día)	18.4	3.5	18.92	14.1	25.91
EFC utilización P (%) ¹	39.32	5.17	38.16	32.18	49.41
Biomasa (kg/ha)	2,666	900	2,571	1,313	4,068
Disponibilidad de pasto (kg/vaca)	28.94	15.24	25.75	7.96	59.95

¹EFC = eficiencia de utilización de P en (%) para producir leche

4.3.2. Carga Animal

Se observó un rango amplio en la carga animal entre las 12 fincas estudiadas. El promedio de carga animal considerando el total de animales bajo pastoreo en las fincas fue de 7.53 con un rango de 1.23 a 27.50 UA/ha (Cuadro 4.1). Entre estos valores se encuentran 6 vaquerías con una carga animal baja < 5 UA/ha, 2 con carga animal intermedia (>5 y < 10 UA/ha) y 4 vaquerías con una carga animal alta (> 10 UA/ha). La carga animal es un parámetro muy importante en la selección de las fincas ya que en gran

parte determina el tipo de manejo nutricional y de los pastos en la finca. La alta carga animal observada en algunas de las fincas estudiadas tiene un efecto positivo en las altas cantidades de suplementos utilizados en la finca, concentraciones de P excretados por unidad de área y los balances de P a nivel de finca. Por ejemplo, las cuatro fincas con mayor carga animal (>10 UA/ha) demostraron importaciones de P a la finca en el alimento concentrado y suplementos de 8,201 kg P/año. Las fincas con menor carga animal (<10 UA/ha) importaron en promedio de 4,500 kg P/año en suplementos. Estos nutrientes son excretados y almacenados para luego ser aplicados en áreas limitadas de terreno. Esto favorece la acumulación de P en los suelos, aumentando su potencial de movimiento fuera de los suelos y la contaminación los cuerpos de agua.

4.3.3. Biomasa y disponibilidad de pasto

El estimado de producción de biomasa en los pastos de las 12 vaquerías fue en promedio 2,697 kg MS/ha con un rango de 1,313 a 4,068 kg/ha. La disponibilidad de MS de los pastos fue, en promedio, 23.95 kg/vaca con un rango de 7.55 a 59.95 kg/vaca/día. El promedio de biomasa (2,697 kg/ha) estimado en este período (mayo-junio) fue similar al reportado durante el período de julio a septiembre en las dos fincas modelos (2,595 y 2,925 para la finca A y B, respectivamente). Siete de las vaquerías encuestadas presentaron valores de disponibilidad de pastos que son considerados bajos < 25 kg/vaca/día según lo expuesto por Bargo et al., (2002). Según, Bargo et al., (2002) los valores promedios obtenidos están en el margen de lo que es considerado adecuado para propiciar consumo a voluntad de vacas sin suplementación con concentrado. Ellos mencionaron que una disponibilidad alta de pasto (\pm 25-40 kg/vaca) resulta en un deterioro de la calidad de éste debido a su sub-utilización por el animal. Esto resulta en

un aumento en la altura del pasto, en la madurez del pasto residual particularmente en situaciones donde se suplementa con cantidades altas de concentrado como las observadas en este estudio.

4.3.4. Relación entre carga animal, la biomasa y disponibilidad de pasto

La figura 4.2 y 4.3 demuestran la relación entre la carga animal, la biomasa total y la disponibilidad de pasto. Los resultados demuestran que por cada aumento de una unidad en la carga animal la biomasa disponible antes del pastoreo disminuye 76.13 kg MS/ha. La disponibilidad de pasto presentó una relación logarítmica por lo cual los datos fueron transformados con el logaritmo natural (Ln). Los datos demuestran que por cada aumento en la CA la disponibilidad de pasto disminuye en 1.5 kg MS/vaca. La disminución de biomasa y por ende la disponibilidad del pasto se debe, a que un mayor número de animales en áreas pequeñas favorece el sobre pastoreo del pastizal. La alta carga y el sobre-pastoreo implican un deterioro y eventual desaparecimiento de las especies más apetecibles, disminuyendo la productividad de los pastos a largo plazo. La capacidad productiva de los pastos se reduce debido a la disminución del área fotosintética residual, lo cual resulta en un agotamiento de las reservas de carbohidratos de la planta.

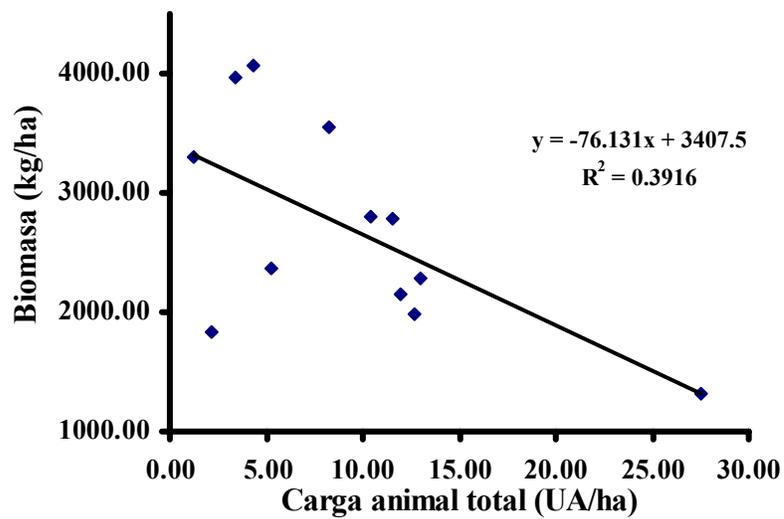


Figura 4.2. Relación entre la carga animal y la producción de la biomasa en el pasto

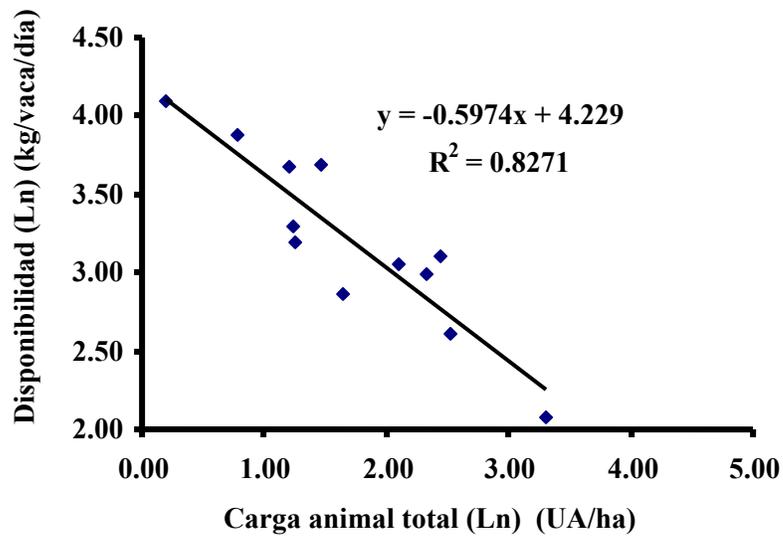


Figura 4.3. Relación entre la carga animal y la disponibilidad de pasto

Powell et al. (2002) indicaron que la alta carga animal esta relacionada con la poca capacidad de la finca para producir el alimento necesario para el ganado lechero y para proveer suficiente área de pastos para establecer mejores prácticas de manejo (BMP's). Estas fincas tienen insuficiencia de terrenos para poder disponer de los desperdicios (nutrientes) generados en la finca. También, la alta carga animal puede estar relacionado con un sobre pastoreo de los predios utilizados. El sobre pastoreo puede causar el quiebre de los tallos de las plantas y disminuye la biomasa vegetal. También, esta asociada con la compactación del suelo, teniendo como consecuencia la disminución de la porosidad, la aireación, la capacidad de infiltración de agua y estructura del suelo. El pisoteo excesivo puede resultar en la remoción de la capa superficial, aumentando la posibilidad de erosión de los suelos. Los aumentos en la compactación del suelo disminuyen el desarrollo de las raíces de los pastos, la cual es necesaria para un rápido crecimiento de las plantas. Otra consecuencia de la compactación es de una reducción en la infiltración de agua aumentando el potencial de escorrentías y la erosión del suelo (Vicente-Chandler et al. 1983). Estos problemas son serios, ya que, aumentan el potencial de pérdidas de nutrientes por aguas de escorrentías que eventualmente pueden causar la contaminación de los cuerpos de agua. Por otro lado, una baja carga animal implica mayor disponibilidad de pasto, el cual puede relacionarse con la sub-utilización de los pastos apacentados, incrementando el sobrante de pasto que no es consumido por los animales. Un buen sistema de pastoreo promueve a una mejor y mayor cosecha de pasto por los animales. A mayor pasto removido mayor P reciclado y mayor extracción de P de los suelos ayudando a disminuir la concentración de éste en el mismo, reduciendo de esta manera el potencial de pedidas de P en las aguas de escorrentías.

4.3.5. Alimentación de fósforo en la dieta

La concentración promedio de P en los alimentos utilizados (forrajes, pasto y concentrados) en las vaquerías estudiadas se presenta en el Cuadro 4.2. El promedio de P en los alimentos concentrados utilizados fue de 7.51 g P/kg con un rango de 6.5 a 8.4 g P/kg. La concentración de P en el AAF fue mayor que la del alimento concentrado bajo en fibra debido al mayor contenido de subproductos altos en P. La concentración de P en los pastos fue significativamente mayor que la del forraje conservado, utilizado en algunas de las vaquerías estudiadas. El promedio de P en los pastos consumida fue de 4.2 g P/kg MS con un rango de 2.4 a 6.20 g P/kg.

Cuadro 4.2. Concentración promedio de P en los alimentos utilizados en las 12 vaquerías estudiadas.

Alimento	N	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
				g P/kg	
Concentrado	11	7.51	0.60	6.5	8.4
Concentrado alto en fibra (AAF)	8	8.48	0.70	7.5	9.4
Pasto	12	4.17	0.99	2.4	6.2
Heno de gramíneas	2	2.0	0.42	1.7	2.3
Ensilaje de sorgo	2	2.15	0.21	2.0	2.3
Heno alfalfa	1	3.2	0.0	3.2	3.2
Pasto picado	1	0.9	0.0	0.9	0.9
Ensilaje de gramíneas	1	2.7	0.0	2.7	2.7
Pre-mezcla de minerales	2	7.8	1.74	5.3	9.3

¹AAF = alimento concentrado alto en fibra “Bulky”

El consumo estimado de materia seca y P total fue, en promedio, 16.41 kg MS/día y 101.49 g P/día, respectivamente. La mayor parte de la MS consumida en la dieta (59%) proviene del alimento concentrado suplementado. Se estimó un rango en el porcentaje de concentrado en la dieta entre 45 a 71% del total de la MS consumida. El 72% del P total

consumido por los animales proviene del alimento concentrado importado a la finca con un rango de entre 50 a 90% del total. El P restante, fue provisto por el pasto y otros forrajes en la dieta.

Los resultados de este estudio demostraron que en las vaquerías encuestadas se alimentan dietas con altas concentraciones de P (5.02 a 7.24 g P/kg MS). La concentración promedio de P en la dieta total de las vacas lactantes fue de 6.16 g P/kg. En la Figura 3.4 se presenta una relación de P en la dieta en las 12 vaquerías encuestadas en vaquerías comerciales de E.E.U.U. (Satter et al., 2002) y las recomendaciones hechas por la NRC (2001).

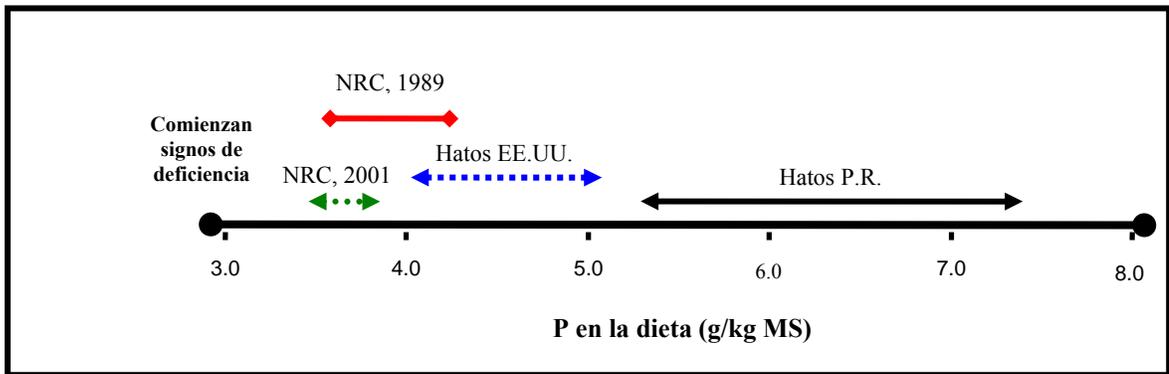


Figura 4.4. Comparación de los requisitos nutricionales de P establecidos por (NRC, 1989 y 2001) con los valores reportados en la literatura para vaquerías comerciales de EE.UU. (Satter et al., 2002b) y el rango de concentración de P encontrados en las 12 vaquerías estudiadas.

Según la NRC (2001) el requerimiento de P en la dieta para la producción de leche reportada en los 12 hatos estudiados (18.40 kg/vaca/día) es de 3.3 g P/kg MS de la ración (Figura 4.4). De acuerdo con los resultados obtenidos todas las vaquerías alimentan exceso de P en la dieta relativo a las recomendaciones de la NRC (2001). Se observó un exceso promedio relativo a la recomendación de P en la dieta de 87% con un

rango de 52 a 119%. Las concentraciones de P en las vaquerías encuestadas son muchos más altas que lo reportado por Shaver y Howard (1995) en Wisconsin (5.7 g P/kg) y los reportados por Morse et al., (1994) (6.0 g P/kg) para vaquerías del Sur de la Florida. También son muchos más altos que los promedios reportados por Bertrand et al. (1999) cuando reportaron un exceso de 21% para 27 granjas comerciales en Carolina del Sur y el 30% reportado por Sansinena et al. (1999) en el sur de los EE.UU. Recientemente, Powell et al. (2002) reportaron concentraciones de P en la dieta para vacas en lactación de 4.0 g P/kg en vaquerías de Wisconsin. Dou et al. (2003) reportaron 4.42 g P/kg en vaquerías de Maryland y Virginia, esto fue equivalente a un 33% de P en exceso de los requisitos nutricionales de P según el (NRC, 2001).

4.3.6. Relación entre el P en la dieta y la producción de leche.

Los resultados demuestran que las altas concentraciones de P en las dietas de los hatos evaluados no están asociadas con aumentos en la producción de leche ($P = 0.43$) (Figura 4.5). Los análisis de regresión sugieren una tendencia de asociación negativa que no es de importancia en términos prácticos. Resultados similares fueron reportados por Dou et al. (2003) en un estudio realizado en 5 estados del área Este de los EE.UU. Los autores concluyeron que un aumento en la concentración de P no estaba asociado con un aumento en la producción de leche.

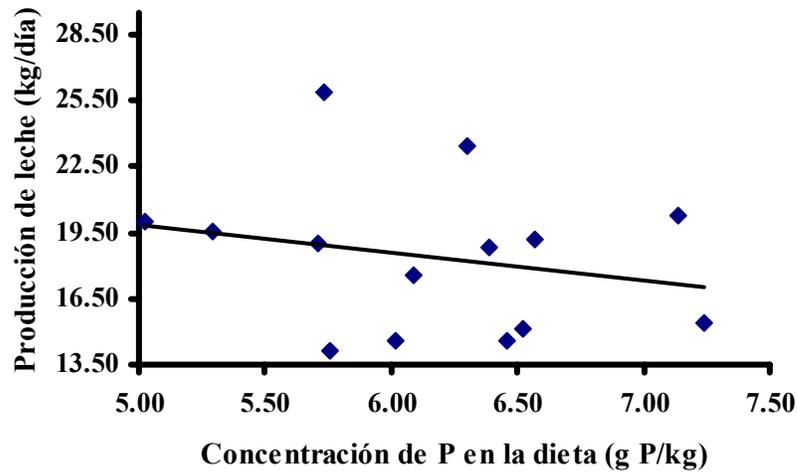


Figura 4.5. Relación entre la concentración de P en la dieta y la producción de leche en las 12 vaquerías estudiadas

4.3.7. Alimentación con P y la excreción fecal

Los datos indican una alta relación ($R^2 = 0.92$) entre el consumo de P en la dieta y la excreción estimada de P (Figura 4.6). Esta relación demuestra que por cada aumento de 1.0 g de P consumido la excreción estimada aumenta 0.90 g P/día, estos valores son similares a los reportados por Morse et al., (1992) (0.88 g P/vaca/día). Basado en los requerimientos para producción y mantenimiento de las vacas en las vaquerías encuestadas, estas consumieron un exceso de 54.63% equivalente a entre 40.3 a 76.8 g P/día. Este exceso de P no es utilizado por el animal y eventualmente es excretado a través las heces fecales. El exceso consumido causa un aumento en la concentración de P en las heces fecales y eventualmente la concentración de P en el suelo debido a la continua aplicación del estiércol al suelo.

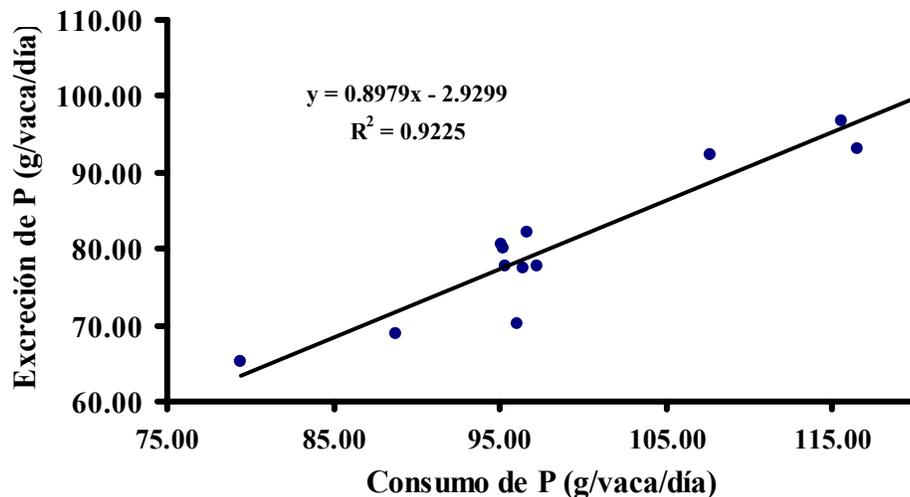


Figura 4.6. Relación entre consumo de P y la excreción estimada de P en las 12 vaquerías estudiadas.

Altas concentraciones de P en la dieta favorecen a una mayor excreción de P. Un aumento en la concentración de P en la dieta resultó en un aumento ($P < 0.05$) en la excreción P. Por cada aumento de 1.0 g en la concentración de P en la dieta la excreción de P aumenta en 14.22 g/día. La disminución de P en la dieta puede prevenir la sobre alimentación de P, lo cual puede resultar en una reducción en la concentración de P en las heces (Figura 4.7).

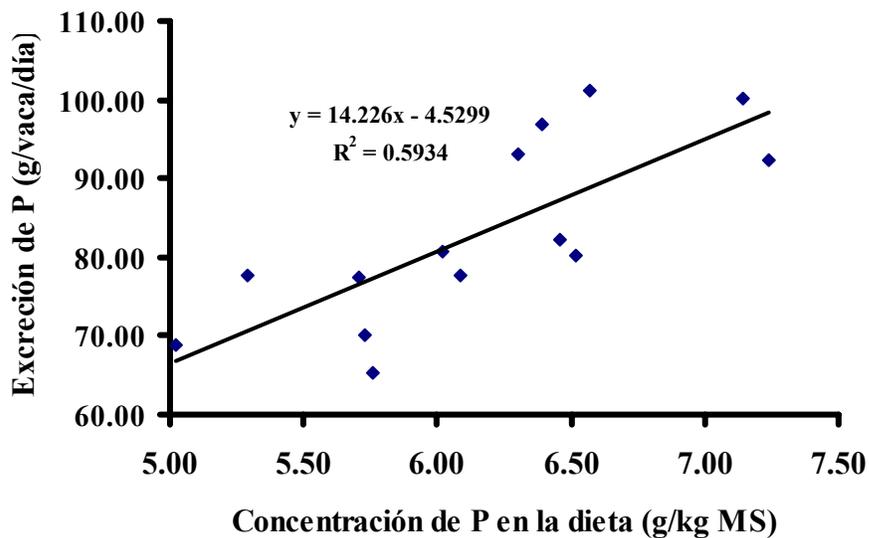


Figura 4.7. Relación entre la concentración de P en la dieta (g/kg) y la excreción estimada de P (g/vaca/día).

4.3.8. Concentración de fósforo en las heces fecales

Los análisis de heces fecales, reflejaron una concentración promedio de P total de 13.53 g P/kg con un rango de 8.90 a 18.50 g P/kg. El P soluble en agua fue 4.03 g P/kg con un rango de 1.10 a 7.10 g P/kg (Figura 4.8). Los datos de las vaquerías estudiadas no demuestran una relación ($P > 0.05$) entre la concentración de P en la dieta, P total ($P = 0.94$) y P disuelto ($P = 0.60$) en las heces fecales. Esto puede deberse a que en todas las vaquerías se observaron valores altos de P en la dieta y el rango de los valores no incluyó valores bajos o recomendados.

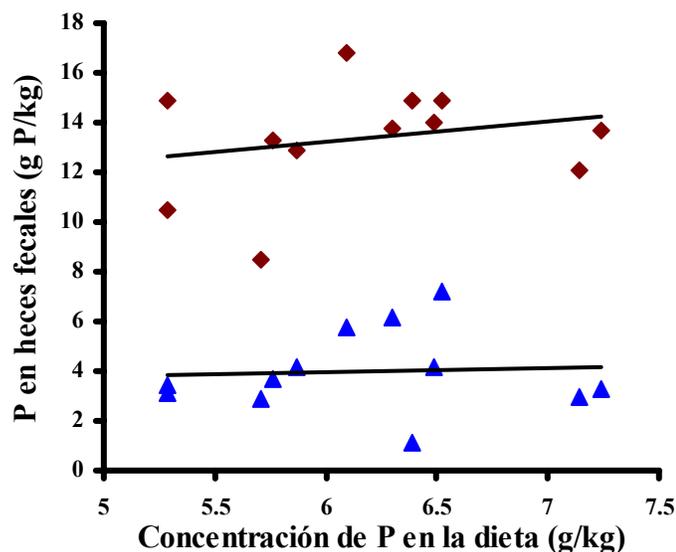


Figura 4.8. Relación entre la concentración de P en las heces fecales (P total (◆) y P disuelto (▲) y la concentración de P en la dieta.

Dou et al. (2003) reportaron una relación lineal entre P en la dieta y el P soluble en las heces fecales. Ellos concluyeron que dietas altas en P causaban un aumento en la fracción soluble de las heces fecales (Dou et al., 2003). En comparación los datos obtenidos en este estudio reflejan una mayor concentración de P en las heces fecales. El promedio de P total en las heces fecales fue de 4.38 g P/kg más que lo reportado (9.20 g P/kg) por Chapuis et al. (2003). Los datos de este estudio reflejaron que la concentración de P en las heces fecales fue muy alta en comparación con lo reportado en la literatura, 6.8 a 9.0 g P/kg (Tomlinson et al., 1996), 6.7 a 9.3 g P/kg (Wu et al., 2000), (Wu et al., 2003); y 5.84 a 12.84 g P/kg (Chapuis et al., 2004) sugiriendo el alto nivel de excreción de P debido al alto consumo de P por los animales.

4.3.9. Balance de P en animales

Los datos sugieren que una gran cantidad del P alimentado fue excretado por los animales, y que la excreción por unidad de área en pastoreo fue sumamente alta (cuadro 4.3). En las 12 fincas evaluadas el estimado promedio de P excretado por las vacas en lactación fue equivalente a 138 kg P/ha/año con un rango de 16.2 a 546 kg P/ha/año. Esto equivale a un promedio de 30.33 kg P/vaca/año con un rango de 23.9 a 36.9 kg P/vaca/año. Estos datos fueron más altos o están en el límite superior de los 19 a 35 kg P/vaca/año reportado por Powell et al. (2001), 10.7 kg P/vaca/año, reportado por Spears et al., (2003) y 18 a 32 kg P/vaca/año reportado por Van Horn et al. (1992). Según investigaciones recientes, la excreción fecal de P para una vaca lechera alta productora alimentada con un cantidad adecuada de P debe ser aproximadamente 21 kg/año (Wu y Setter, 2000b y Powell et al., 2001). La diferencia entre la recomendación de P y el nivel de excreción reportado en este estudio se debe principalmente al alto contenido de P en las dietas de las vacas lecheras y a una menor producción de leche ocurrida en los hatos de P.R. en comparación con los hatos de E.U. Si a este estimado se le añade la cantidad de P excretado por los animales (no lactantes) la cantidad de P excretado por unidad de área en pastoreo aumentaría a un promedio de 171.15 kg P/ha/año con un rango de 25.15 a 546.21 kg P/ha/año.

Cuadro 4.3. Estimados de excreción de P y balance de P en las 12 fincas estudiadas.

Variable	N	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
Excreción en exceso (kg/vaca/año) ¹	14	16.86	5.02	10.16	28.35
Excreción total (kg/vaca/año) ²	14	30.33	4.27	23.83	36.9
% de P en exceso	14	54.63	9.45	40.29	76.83
Excreción total (kg/ha/año) ³	14	138.04	158.07	16.14	546.21
Excreción de P total de la finca (kg/ha/año) ⁴	12	171.15	161.89	25.15	546.21
Balance de P (kg/ha/año) ⁵	12	156.15	153.17	15.02	472.85

¹Excreción en exceso = exceso sobre una alimentación de requerimiento

²Excreción de vacas lecheras solamente

³Excreción total vacas lecheras solamente

⁴Excreción todos los animales

⁵Balance de P (entradas de P alimentos y fertilizantes) – salidas (leche, animales de venta y descarte)

4.3.10. Balance de fósforo a nivel de finca.

El balance de P en las vaquerías estudiadas resultó de la suma de todas las entradas o insumos de P a la finca incluyendo el P en los alimentos y fertilizantes inorgánicos. Las salidas de P incluyen el P en la leche vendida, las vacas de descarte y becerros vendidos según el procedimiento utilizado previamente. El balance promedio estimado fue de 156.15 kg P/ha/año con un rango de 15.02 a 472 kg P/ha/año. Esto implica que en las fincas evaluadas se retuvo entre 15 y 472 kg P/ha/año. Este permanece en el suelo y presenta un alto riesgo de contaminación ambiental. Estos valores de excreción son sumamente altos principalmente debido a la alta carga animal prevaleciente.

4.3.11. Relación entre la carga animal y el balance de P en los animales y a nivel de la finca.

La carga animal de las fincas estudiadas fue un factor determinante en las cantidades de P excretado y los balances de P en las fincas. Los análisis demostraron una relación cuadrática significativa ($P < 0.05$) de la CA con la excreción total ($R^2 = 0.95$) y balance de P ($R^2 = 0.88$) (Figura 4.9 y 4.10). Los datos demuestran que con un incremento de una unidad en la carga animal, la excreción total de P aumenta 33.72 kg/ha/año. Del mismo modo el balance de P a nivel de finca aumentaba 34.50 kg/ha/año. Estos valores sugieren que aumentos en la carga animal van a tener un impacto marcado en las excreciones y balance de P en las fincas.

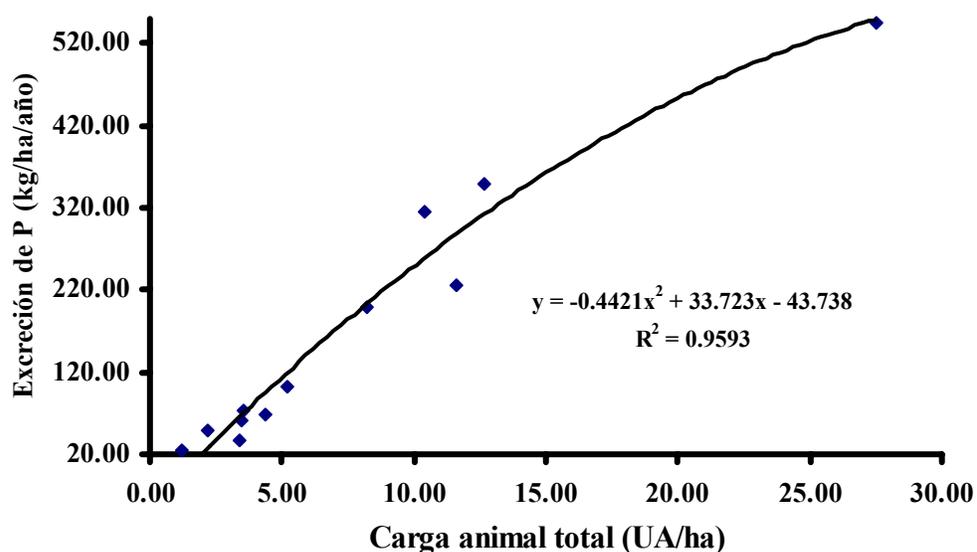


Figura 4.9. Relación entre la carga animal y la excreción de P en las fincas estudiadas.

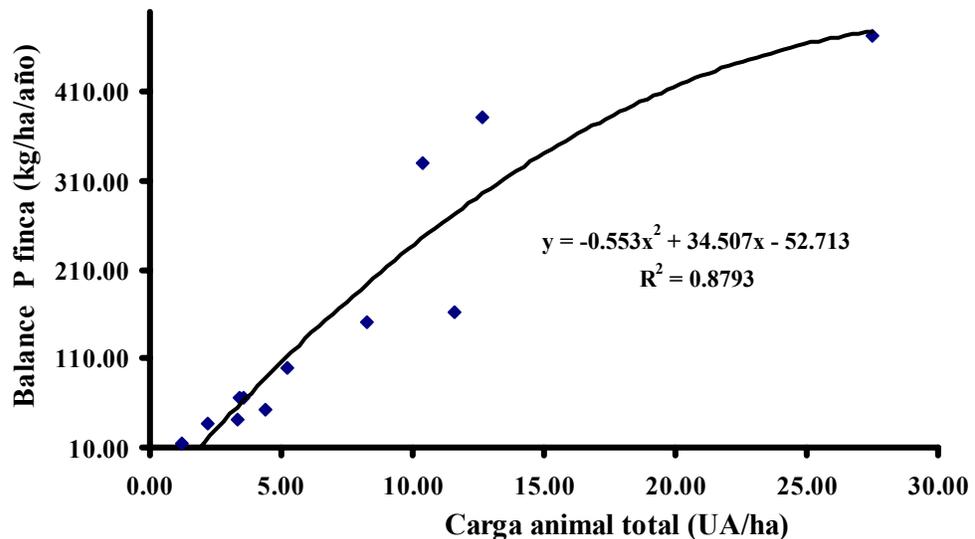


Figura 4.10. Relación de la carga animal y el balance de P a nivel de finca en las 12 fincas encuestadas.

4.3.12. Fósforo en el suelo

En el apéndice 1.3 se encuentran los valores de P para los predios muestreados en cada finca evaluada. Los análisis de suelo reportados anteriormente (Capítulo 2) y los análisis de suelo sugieren una gran acumulación de P en los suelos de las 12 fincas estudiadas. De los 38 predios muestreados en las 12 fincas, en 33 (87%) se aplican desperdicios orgánicos de la charca de almacenamiento. Los 33 predios reflejaron concentraciones de P mayores al nivel crítico agronómico establecido de 35 mg/kg Olsen (Muñiz-Torres, 1992). Este valor define el nivel en que adiciones de P no son recomendadas en términos agronómicos. Los cinco predios que no recibieron aplicaciones de desperdicios de la charca de oxidación obtuvieron concentraciones menores que el nivel crítico. El promedio de P en la totalidad de los cercados muestreados fue de 109.33 mg/kg con un rango de 13.15 a 402.06 mg P/kg de suelo. El

valor promedio es más alto a los 93 mg/kg reportado por Martínez et al., (2001) cuando evaluó suelos de vaquerías en P.R. Los valores de P (Sotomayor et al., 2004) en el suelo se han agrupado en cinco categorías de acuerdo a la susceptibilidad de pérdidas de P como sigue: <12 baja, 12-35 mediana, 35-123 alta, 124-179 muy alta y >179 mg/kg extremadamente alta. Del total de las muestras de suelos analizados, 87% exceden los niveles críticos agronómicos de P. El 16% se encuentra en la categoría mediana, 47% en la categoría alta, 18% en la categoría muy alta y 18% en la categoría extremadamente alta en susceptibilidad de pérdida de P del suelo (Figura 4.11). Estos resultados son similares a los reportados por (Martínez et al., 2001) cuando observaron que el 75 % de las muestras de suelo analizadas en los predios donde se aplicó estiércol generado en las vaquerías exceden los niveles críticos agronómicos de 35 mg/kg Olsen (Muñiz-Torres, 1992) (figura 4.11).

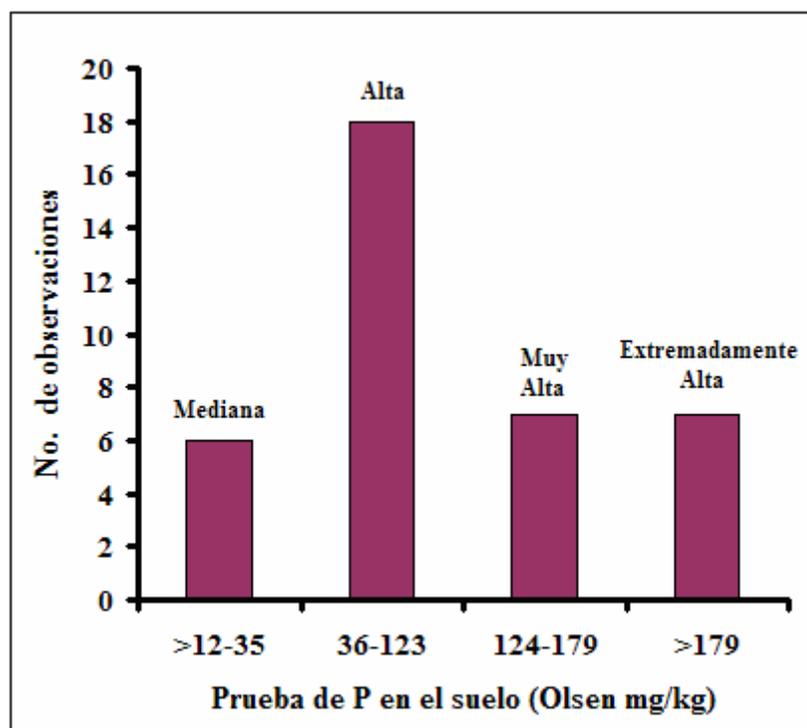


Figura 4.11. Distribución de P en el suelo en las 12 vaquerías estudiadas y clasificadas en las categorías mediana, alta, muy alta y extremadamente alta en susceptibilidad de pérdida de P (Sotomayor et al., 2004).

4.3.13. Relación entre la carga animal y la concentración de P en el suelo

En las fincas con mayor carga animal los predios donde se realizaron aplicaciones de desperdicios de la charca de oxidación reportaron las mayores concentraciones de P en el suelo ($P < 0.05$) ($R^2 = 0.93$) (Figura 4.12). El análisis de los datos indicó que por cada aumento de una unidad en la carga animal el P en el suelo aumentó en 8.17 mg/kg. Un resultado similar a lo reportado por Lanyon (1992) y Knowlton y Herbain (2002) cuando reportaron que altas concentraciones de P en el suelo y los riesgos de pérdida de P se observan en áreas con alta densidad animal.

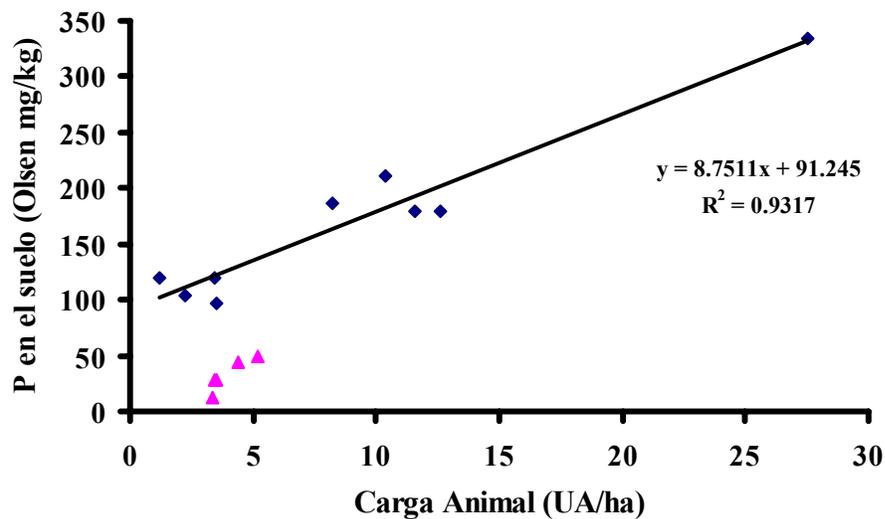


Figura 4.12. Relación entre la carga animal y concentraciones de P en el suelo.
La relación se hizo tomando en consideración los cercados donde se aplican los residuos de los animales (♦). La figura ▲ indica los predios donde no se realiza la aplicación de los residuos de los animales.

Los resultados demuestran claramente que el manejo de residuos en las fincas pecuarias en P.R. debe ser reevaluado. La continúa aplicación de residuos y fertilizantes a los suelos y la alta carga animal presente en las vaquerías incrementan el contenido de P en el suelo, aumentando el potencial de pérdidas por la escorrentía. Por tal razón se están desarrollando índices de P (USDA-NRCS, 2002) para determinar la vulnerabilidad de éstos a las pérdidas de P. En suelos con una categoría alta, muy alta y extremadamente alta la aplicación de desperdicios debe realizarse en base al nutriente P y no a N. En casos extremos se debe evitar aplicaciones de P en los cercados, para disminuir su acumulación excesiva en el suelo. Otra práctica de manejo que debe implantarse es la reducción en la concentración de P en las dietas de las vacas lecheras para disminuir el exceso excretado

y la concentración de P en el estiércol. Esta pudiera ser la práctica de mayor impacto para reducir el nivel de excreción a corto plazo en las vaquerías de P.R.

4.4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran claramente que la concentración de P en la dieta de las vacas lecheras excede las concentraciones de P recomendadas, principalmente debido a las altas concentraciones prevalecientes en los alimentos concentrados comerciales. Los hatos evaluados son alimentados con dietas que contienen concentraciones de P que son 87% más altas que los niveles de P recomendados (NRC, 2001). Estos niveles altos no tienen justificación en términos nutricionales ya que estos no están relacionados con aumentos en la producción de leche, ni con el mejoramiento del desempeño reproductivo de las vacas. Más aun, la alta concentración de P en la dieta está asociado con altos niveles de excreción de P en las heces fecales. La aplicación de estiércol con altas concentraciones de P y la aplicación de P en fertilizantes inorgánicos en fincas con alta carga animal aumentan la acumulación de P en el suelo, incrementando su potencial de perderse a través de las escorrentías.

La mayor parte del P en las dietas proviene de alimentos concentrados importados a la finca. Esto debido a las altas concentraciones de P en los ingredientes utilizados para formular estos alimentos. Todos los hatos lecheros estudiados presentaron balances positivos de P en la dieta (exceso de P) de los animales. La aplicación de P a los pastos mediante fertilizantes inorgánicos contribuyó a aumentar los altos niveles de P retenidos a nivel de la finca.

Aumentar la carga animal utilizada en los hatos lecheros tiene un impacto significativo en aumentar la excreción de P por unidad de área bajo pastoreo y el balance

de P a nivel de finca. Aumentos en la carga animal reduce la biomasa de pastos producida y la disponibilidad de pasto por animal en los predios bajo pastoreo. Esto tiene como consecuencia una reducción en el rendimiento de pasto y en la cantidad de P reciclado en los pastos. Finalmente se observó una asociación significativa entre la carga animal y las altas concentraciones de P encontradas en el suelo. Los análisis de suelo demostraron que un 87% de los suelos sobrepasa el nivel crítico agronómico de P, siendo clasificados en las categorías alta a extremadamente altas en susceptibilidad de pérdidas de P. Reducir la concentración de P en las dietas de los animales y la disminución en la aplicación de P en el fertilizante inorgánico en áreas con altas concentraciones de P son las alternativas más prácticas y de mayor impacto para reducir la excreción de P y el potencial de pérdidas del mineral en las vaquerías de P.R. Estas prácticas pueden reducir los costos de alimentación y de fertilización en la finca, fomentando una mejor utilización de este mineral en la finca.

4.5. IMPLICACIONES GENERALES

La poca disponibilidad de terrenos en nuestra isla hace que la acumulación de P en los fincas sea mayor que lo reportado en fincas de EE.UU. Es claro y evidente que la alta carga animal en los hatos estudiados tiene un impacto negativo importante y determinante en los altos balances de P a nivel de finca.

Dado la escasez de terrenos agrícolas en P.R., y su alto costo la disminución de carga animal y el aumento en área de pastos en las fincas son alternativas que aunque efectivas, serían imprácticas y costosas para implementar por los productores. Por lo tanto, deben evaluarse otras prácticas para disminuir el balance de P en las vaquerías. Entre las prácticas recomendadas están: reducir la aportación de fertilizantes fosfatados y reducir la concentración de P en los alimentos concentrados, aplicar desperdicios en áreas de terreno con bajas concentraciones de P, implementar prácticas de manejo de los pastos para evitar la sub-utilización del pastoreo, incrementar la producción de leche y explorar la práctica de exportar el estiércol fuera de la finca.

Se ha demostrado a través de la literatura y de este estudio que las fincas lecheras poseen un potencial para la contaminación ambiental, debido a las altas cantidades de P utilizadas en los hatos. Las regulaciones ambientales cada día están siendo más rigurosas con la implementación de leyes ambientales para la reducción de la contaminación con P. Por lo tanto, se debe comenzar la educación de nuestros ganaderos para que estos conozcan de las implicaciones que el incumplimiento de estas leyes pudiera tener en el futuro de sus empresas y el manejo de nuestros recursos naturales. También, se debe comenzar a tomar medidas correctivas para prevenir daños al ambiente, que puedan comprometer la viabilidad de las empresas pecuarias en P.R. Para esto es necesaria la

cooperación de nutricionistas, las industrias de alimentos, veterinarios, extensionistas y el gobierno para llevar el mensaje a los productores e implementar un plan de acción efectivo. La creación de un programa de incentivo para fomentar e incrementar el interés en la modificación o disminución de P en la dieta (Dou et al., 2003) pudiera facilitar el proceso.

REFERENCIAS

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1990. Manure production characteristics. Engineering practices subcommittee, ASAE Agric. Sanit. Waste Manag. Comm. ASAE Standard D384.1, Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
- Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1991. Technical Committee on Responses to nutrients, Report No. 6, Nutr. Abstr. And Rev., Series B 61:573-612.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The nutrient requirement of farm livestock, Ruminants, ARC, London.
- Ball, D.M., C.S. Hoveland y G.D. Lacefield. 2002. Southern Forages 3rd ed. Modern Concepts for forage crop management. Potash & Phosphate Institute, Norcross, Georgia.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E. Delahoy y T.W. Cassidy. 2002. Milk responses to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777-1792.
- Beede, D.K. y J.A. Davidson. 1999. Phosphorus: Nutritional management for Y2K and beyond. In Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conference, Ohio State Univ. Columbus, Ohio. Pp. 51-97
- Bertrand, J.A., J.C. Fleck y J.C. McConnell. 1999. Phosphorus intake and excretion on South Carolina dairy farms. *Prof. Anim. Sci.* 15:264-267.
- Breves, G. y B. Schröder. 1991. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. *Nutr. Res. Rev.* 4:125-140.
- Brintrup, R., T. Mooren, U. Meyer. H. Spieker y E. Pfeffer. 1993. Effects of two levels of phosphorus intake on performance and fecal phosphorus excretion of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 69:29-36.
- Brodison, J.A., E.A. Goodgall, J.D. Armstrong, D.I. Givens, F.J. Gordon, W.J. McCaughey y J.R. Todd. 1989. Influence of dietary phosphorus on the performance of lactating dairy cattle. *J. Agric. Sci.* 112:303-311.
- Bundy, L.G. 1998. A phosphorus budget for Wisconsin cropland. A report submitted to the Wisconsin Department of Natural Resources and Department of Agriculture, Trade and Consumer Protection. Pp. 1-20.

- Call, J.W., J.E. Butcher, J.L. Shupe, R.C. Lamb, R.L Bowman y A.E. Olson. 1987. Clinical effects of low dietary phosphorus concentration in feed given to lactating dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* 48:133-136.
- Carstairs, J.A., R.R. Neitzel y R.S. Emery. 1981. Energy and phosphorus status as factors affecting postpartum performance and health of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 64:34-41.
- Care, A.D. 1994. The absorption of phosphate from the digestive tract of ruminant animals. *Br. Vet J.* 150:197.
- Cerosaletti, P.E., D.G. Fox y L.E. Chase. 2004. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87:2314-2323.
- Challa, J. y G.D. Braithwaite. 1988. Phosphorus and calcium metabolism in growing calves with special emphasis on phosphorus homeostasis 1. Studies of the effect of changes in the dietary phosphorus intake o phosphorus and calcium metabolism. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 110:573-581.
- Chesapeake Bay Program. 1995. The state of the Chesapeake Bay, 1995 U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. Pp. 1-65.
- Chapuis, L., J.D Toth, J. Fiorini y Z. Dou. 2004. Phosphorus in dairy feces from farms: variability, solubility, and affecting factors. ASA. CSSSA annual meeting, Seattle.
- Clark, W.D., J.E. Wohlt, R.L. Gilbreath y P.K. Zajac. 1986. Phytate phosphorus intake and disappearance in the gastrointestinal tract of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69:3151-3155.
- Combs, S.M. y J.B. Peters. 2000. Wisconsin Soil Test Summary: 1995-99. New Horizons in Soil Science. No. 8. Department of Soil Science. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin. <http://uwlab.soils.wisc.edu/madison/index.htm>
- Crouse, D.A., S.C. Hodges, C.R. Campbell y J.P. Zublena. 2000. Sampling techniques for nutrient analysis of animal manures. En G.M. Pierszynsky. Ed. Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and Waters. Bulletin no. 396. Pp. 71-73.
- Deitert, C. y E. Pfeffer. 1993. Effects of reduced P supply in combination with adequate or high Ca intake on performance and mineral balances in dairy goats during pregnancy and lactation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 60:269-275.

- Departamento de Agricultura. 1999. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Estudio económico exhaustivo de la industria lechera de Puerto Rico: Fase Agrícola Año 1997. Departamento de Agricultura, Oficina de Estadísticas Agrícolas.
- Dhiman, T.R., L.D. Satter y R.D. Shaver. 1995. Milk production and blood phosphorus concentration of cows fed low and high dietary phosphorus. En Research Summaries, U. S. Dairy Forage Research Center, Madison, WI. P. 105.
- Dou, Z., J.D. Toth, D.T. Galligan, C.F. Jr. Ramberg y J.D. Ferguson. 2000. Laboratory procedures for characteristics manure phosphorus. J. Environ. Qual. 29:508-514.
- Dou, Z., K.F. Knowlton, R.A. Kohn, Z. Wu, L.D. Satter, G. Zhang, J.D. Toth y J.D. Ferguson. 2002. Phosphorus characteristics of dairy feces affected by diets. J. Environ. Qual. 31:2038-2065.
- Dou, Z., J.D. Ferguson, J. Firini, F.D. Toth, S.M. Alexander, L.E. Chase, C. M. Ryan, K.F. Knowlton, R. A. Kohn, A. B. Peterson, J. T. Sims y Z. Wu. 2003. Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. J. Dairy Sci. 86:3787-3795.
- Durand, M y S. Komisarczuck. 1988. Influence of minerals on rumen microbiota. J. Nutr. 11:171-182.
- Durand, M y R. Kawashima. 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion. En "Digestive physiology and metabolism in ruminants". Ruckebusch and Thivend. Eds. Published MTP Press, Ltd., Lancaster, England.
- Duskova, D., R. Dvorak, V. Rada, J. Doubek y M. Marounek. 2001. Concentration of phytic acid in feces of calves fed starter diets. Acta. Vet. Brno. 70:381-385.
- Ebeling, A.M., L.G. Bundy, J.M. Powell y T.W. Andraski. 2002. Dairy diet phosphorus effects on phosphorus losses in runoff from land-applied manure. Soil Sci. Soc. Am. J 66:284-291.
- Edwards, T. y Z. Wu. 2003. They prove you can reduce phosphorus, 2003. Hoards Dairyman , Sept. 10. Pp. 570.
- Engstrom, G.W., J.P. Goff, R.L. Horst y T.A. Reinhardt. 1987. Regulation of calf renal 25 hydroxyvitamin D-hydroxylase activities by calcium regulating hormone. J. Dairy Sci. 70: 2266-2271.

- Erb, K.A. 2002. Phosphorus loading per acre vs. cow populations in dairy watershed in Northeast Wisconsin. Proceedings, Total Maximum Daily Load (TMDL). Environmental Regulations Conference. American Society of Agriculture Engineers. Forth Worth, Texas. Pp. 566-572.
- Fike, J.H., C.R. Staples, L.E. Sollenberger, B. Macoon y J.E. Moore. 2003. Pasture Forages, supplementation rate, and stocking rate effects on dry cow performance. *J. Dairy Sci.* 86:1268-1281.
- Flynn, A. y P. Power. 1985. Nutritional aspects of minerals in bovine and human milks. 183-215. En *Developments in Dairy Chemistry-3: Lactose and minor constituents*, P.F. Fox, Ed. New York Elsevier Applied Science Publishers.
- Graentz, D.A., y V.D. Nair. 1995. Fate of phosphorus in Florida spodosols contaminated with cattle manure. *Ecol. Eng.* 5:163-181.
- Godoy, S. y F. Meschy. 2001. Utilization of phytate phosphorus by rumen bacteria in a semi-continuous culture system (Rusitec) in lactating dairy goats fed on different forage to concentrate ratios. *Reprod. Nutr. Dev.* 41:259-265.
- Godoy, S. y F. Meschy. 2002. In vitro phytase activity of rumen goats bacterial fed with different types of diets. *Revista Científica.* 12:36-39
- Gueguen, L., M. Lamand y F. Meschy. 1989. Mineral requirements. En: (Ed.) Jarrige, *Ruminant Nutrition: Recommended allowances and feed tables*. INRA, Paris. Pp. 49-56
- Guyton, A.D., K.F. Knowlton, R. Pearson, y C. Poland. 2002. Starch digestion and phosphorus excretion in lactating dairy cows. M.S. (Thesis) Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. Pp. 1-78.
- Harris, B., D. Morse, H.H. Head y H.H. Van Horn. 1990. Phosphorus nutrition and excretion by dairy animals. Cooperative Extension Service Circular 849. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to Nutrient Management. 6th ed. Prentice Hall.
- Holford, I.C.R., C. Hird y R. Lawrie. 1997. Effects of animal effluents on the phosphorus sorption characteristics of soils. *Aust. J. Soil. Res.* 35:365-373.
- Horst, R.L. 1986. Regulation of calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 69:604-607.

- Horst, R. y T.A. Reinhardt. 1983. Vitamin D metabolism in ruminants and its relevance to the periparturient cow. *J. Dairy Sci.* 66:661-678.
- Howard, W.T. y R.D. Shaver. 1992. Use of high producing herd diet evaluation in dairy extension programming. *J. Dairy Sci.* 75(Suppl. 1):186. (Abstr.)
- House, W.A. y A.W. Bell. 1993. Mineral accretion in the fetus and anexa during late gestation in Holstein Cows. *J. Dairy Sci.* 76:2999-3010.
- Keuning, J.L., S.L. Gunderson y R.D. Shaver. 1999. Survey of feeding and Management practices on six high producing Wisconsin dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82(Suppl.1):844 (Abstr.)
- Khan, N. 1994. Phosphorus the essential element. *Feed Mix*, Special issue on phosphates. 4-6.
- Khorasani, G.R., R.A. Jenzen, W.B. McGill y J.J. Kennelly. 1997. Site and extent of mineral absorption in lactating cows fed whole crop cereal grain silage or alfalfa silage. *J. Anim. Sci.* 75:239-248.
- Kincaid, R.L., J.K. Hillers y J.D. Conrath. 1981. Calcium and phosphorus supplementation of rations for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64:754-758.
- Klausner, S. 1995. Nutrient Management Planning. En K Steele, Ed. *Animal Waste and Land-Water Interphase*. Lewis Publishers. New York. Pp 383-391
- Klosh, M., G.H. Richter, A. Schneider, G. Flachowsky y E. Pfeffer. 1997. Influence of feeding on fecal phosphorus excretion of growing bulls varying in body weight. *Arch. Anim. Nutr.* 50:163-172.
- Knowlton, K.F. y J.H. Herbein. 2002. Phosphorus partitioning during early lactation in dairy cows fed diets varying in phosphorus content. *J. Dairy Sci* 85:1227-1236.
- Knowlton, K.F., J.H. Herbein, M.A. Meister y W.A. Wark. 2001. Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus *J. Dairy Sci.* 84:1210-1217
- Kotak, B.G., E.E. Prepas y S.E. Hruday. 1994. Blue green algal toxins in drinking water supplies: research in Alberta. *Lake Line* 14: 37-40.
- Kotak, B.G., S.L. Kenefick, D.L. Fritz., C.G. Rosseaux, E.E. Prepas y S.E. Hruday. 1993. Occurrence and toxicology evaluation of cyanobacteria toxins in Alberta lakes and farm dugouts. *Water Research* 27:495-506.

- Lanyon, L.E. 1992. Implications of dairy herd size for farm material transport, plant nutrient management and water quality. *J. Dairy Science* 75:334-344.
- Lanyon, L.E. 1994. Dairy manure and plant nutrient management issues affecting water quality and the dairy industry. Symposium: Dairy manure and waste management. *J. Dairy Sci.* 77:1999-2007.
- Lanyon, L.E. y P.B. Thompson. 1996. Changing emphasis on farm production. En: *Animal Agriculture and the Environment: Nutrient, Pathogens and Community Relations. Proceedings from the Animal Agriculture and the Environment North American. Conference, Rochester, NY, December 11-13. Ithaca, N.Y.: Northeast Regional. Agriculture Engineering Service. Pp. 15-23.*
- Lopez, H. F.D. Kanitz, V.R. Moreira, L.D. Satter y M.C. Wiltbank. 2004. Reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus. *J. Dairy Sci.* 87:146-157.
- Lynch, P.B. y P.J. Caffrey. 1997. Phosphorus requirements for animal production. En: *Phosphorus Loss From Soil to Water. Tunney H, O.T Carton, P.C. Brookes, and A.E. Johnston, Eds. CAB INTERNATIONAL. Willingford, Oxon. Pp. 283-296.*
- Martz, F.A. A.T. Belo, M.F. Weiss y R.L. Belyea. 1999. True absorption of calcium and phosphorus from corn silage fed to nonlactating, pregnant dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:618-622.
- Martin, A. y G.D. Cooke. 1994. Health risks in eutrophic water supplies. *Lake Line* 14:24-26.
- Martínez, G.A., D. Sotomayor y J. Castro. 2001. Application of the Caribbean P Index to soils receiving amendments. *J. Agric. Univ. P.R.* 86:145-154.
- McDowell, L.R. 1992. *Minerals in animal and human nutrition.* Academic Press, San Diego.
- Merrington, G., L. Winder, R. Parkinson y M. Redman. 2002. Agricultural pollution. Environmental problems and practical solutions. *Environmental Science and Engineering Series. London. Pp. 42-71.*
- Morse, D., R.A. Nordstedt, H.H. Head y H.H. Van Horn. 1994. Production characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. *Trans. ASAE* 37:275-279.
- Morse, G.K., Lester, J.N. y Perry, R. 1993. *The economic and environmental impact of phosphorus removal from waste waters in the European community,* Selper Publications, London.

- Morse, D., H.H. Head y C.J. Wilcox. 1992a. Disappearance of phosphorus in phytate from concentrates in vitro and from rations fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 75:1979-1986.
- Morse, D., H.H. Head, C.J. Wilcox, H.H. Van Horn, C.D. Hissem y R. Lowrance. 1992b. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. *J. Dairy Sci.* 75(11):3039-3049.
- Muñiz-Torres, O. 1992. *Uso de Fertilizantes en Puerto Rico: Enfoques prácticos*; Guía Técnica. Universidad de Puerto Rico, Servicio de Extensión Agrícola, Mayagüez, PR. P. 26
- National Research Council (NRC). 1978: Nutrient Requirement of Dairy Cattle; 5th Rev. Ed., Nat. Acad. Press. Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 1989. Nutrient Requirement of dairy cattle; 6th Rev. Ed., Nat. Acad. Press. Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle 7th Rev. Ed. Nat. Acad. Press. Washington, D.C.
- Nordstedt, R.A. 1988. Past and Current Research on Dairy Waste Management. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. P. 105-112.
- Ocasio, Y., G.A. Martínez., D. Sotomayor, y L. Perez-Alegría. 2003. Fuentes dispersas de contaminación con fósforo en la cuenca del Río Grande de Arecibo. Resumen Reunión Científica Anual. Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas SOPCA, Guánica P.R.
- Ortega-Achury, S.L. 1995. Validación del índice de P del caribe y evaluación de prácticas de manejo de desechos orgánicos en fincas de producción animal de P.R. MS Tesis. Departamento de Agronomía y Suelos, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Pp. 1-191.
- Palmstrom, N.S., R.E. Carlson y G.D. Cooke. 1988. Potential links between eutrophication and formation of carcinogens in drinking water. *Lake and Reservoir Management* 4:1-15.
- Pote, D.H., and T.C. Daniel. 2000. Analyzing for total phosphorus and total dissolved phosphorus in water Samples. P. 94-97; En G.M. Pierzinsky Ed. *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.* Bulletin no. 396.
- Powel, W.J. y H.H. Van Horn. 2001. Nutritional implications for manure management planning. *Appl Engin. in Agric.* 17:27-39.

- Powell, J.M., Z. Wu y L.D. Satter. 2001. Dairy Diets effects on Phosphorus cycles of cropland. *J. Soil and Water Conserv.* 56:22-26.
- Powell, J.M., D.B. Jackson-Smith y L.D. Satter. 2002a. Phosphorus feeding and manure nutrient recycling on Wisconsin dairy farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 277-286.
- Powell, J.M., D.B. Jackson-Smith, L.D. Satter y L.G. Bundy. 2002b. Manejo integral del fósforo en los establecimientos lecheros. *Manejo de nutrientes* No. 901. Instituto Babcock Universidad de Wisconsin.
- Powers, W.J. y H.H. Van Horn. 2001. Nutritional implications for manure management planning. *Appl. Engin. In Agric.* 17:27-39.
- Pointillard, A. 1991. Enhancement of phosphorus utilization in growing pigs fed phytate rich diets by using rice bran. *J. Anim. Sci.* 69:1109.
- Public Law 92-500. 1972. Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972 (Clean Water Act). 92nd Congress. February 4, 1987.
- Randel, P.F. y J.R. Moyá. 2003. A liquid of supplement of SynerMax and cane molasses for lactating dairy cows in semi-confinement. *J. Agric. Univ. P.R.* 87:137-147.
- Raun, A., E. Cheng y W. Burroughs. 1956. Phytate phosphorus hydrolysis and availability to rumen microorganisms. *J. Agr. Food Chem.* 4: 869-871.
- Reddy, K.R., M.R. Overkash, R. Kehaleel y P.W. Westerman. 1980. Phosphorus adsorption-desorption characteristics of two soils utilized for disposal animal wastes. *J. Environ. Qual.* 9:86-92.
- Reinhardt, T.A., R.L. Horst y J.P. Goff. 1988. Calcium, phosphorus and magnesium homeostasis in ruminants. In: *Metabolic Diseases of Ruminant Livestock. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 4:331-350.
- Rotz, C.A., A.N. Sharpley, L.D. Setter, W.J. Gburek y M.A. Sanderson. 2002. Production and feeding strategies for phosphorus management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 85:3142-3153.
- Ruíz, T.M., M López-Beníquez y R. Macchiavelli. 2001. Relación de la carga animal y el uso de alimento concentrado con el porcentaje de grasa láctea y la producción en los hatos lecheros de Puerto Rico. *Est. Exp. Agríc. Boletín* 300. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

- Ryan, J., G. Estefan and A. Rashid. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) y the National Agricultural Research Center (NARC). P. 172. Disponible en www.icarda.cgiar.org/publications/lab_manual/read.htm.
- Sansinena, M., L. D. Bunting, S. R. Stokes, y E. R. Jordan. 1999. A survey of trends and rationales for P recommendations among Mid-South nutritionists. En Proc. Mid South Ruminant Nutr. Conf., Dallas, TX. Pp. 51-54.
- Santillan, R.A., W.R. Ocumpaugh y G.O. Mott. 1979. Estimating Forage Yield with a disk meter. Agron. J. Vol. 71:71-74.
- SAS Institute. 2001. SAS for Windows. Version 8. SAS Inst., Cary, NC.
- Satter, L.D., T.J. Klopfstein y G.E. Erickson. 2002. The role of nutrition in reducing nutrient output from ruminants. J. Anim. Sci. 80(E. Suppl.2):E143-E156.
- Satter, J. D. and Z. Wu. 1999a. Phosphorus nutrition of dairy cattle: What's new?. En Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Cornell University, Ithaca, New York. Pp. 72-80.
- Satter, J.D. y Z. Wu. 1999b. Reducing manure phosphorus by dairy diet manipulation. In Proc. of the 1999 Wisconsin Fertilizer, Aglime & Pest Management Conference, Madison WI, January 19-21, 1999. Pp. 183-192.
- Sequeilha, L. G. Moulin y P. Galzy. 1993. Reduction of phytate content in wheat bran and glandless cotton flour by *Schwanniomyces castelli*. J. Agric. Food Chem. 41:2451-2454.
- Sharpley, A.N., S.C. Chapra, R. Wedepohl, J.T. Sims and T.C. Daniel y K.R. Reddy. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. J. Environ. Qual. 22:437-451.
- Sharpley, A.N. 1996. Myths about phosphorus. Proceedings from the Animal Agriculture and the Environment, December 11-13, 1996 Rochester, New York. Pp. 60-75.
- Sharpley, A.N. y S. Rekolainen. 1997. Phosphorus in agriculture and its environment implications. En: Phosphorus Loss from Soil to Water. H. Tunney Ed. CAB International. Pp. 1-45.
- Sharpley, A.N. y W. Gburek. 1998. Agricultural phosphorus and water quality: source, transport and management. Agricultural and Food Science in Finland 7:297-314.

- Sharpley, A.N. y B. Moyer. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual* 29:508-514.
- Sharpley, A.N. 2000. *Agricultural and Phosphorus Management*, The Chesapeake Bay Library of congress. Lewis Publishers, Boca Raton London New York Washington, D.C.
- Shaver, R y W.T. Howard. 1995. Are we feeding too much phosphorus? *Hoards Dairyman*: 140:280-281.
- Siddique, M. T. y J. Stephen Robinson. 2003. Phosphorus Sorption and Availability in soil amended with Animal Manures and Sewage Sludge. *J. Environ. Qual.* 32:1114-1121.
- Sims, J.T. 2000. Soil test Phosphorus: Olsen En G.M. Pierzinsky Ed. *Methods of Phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters*. Southern Cooperative Series Bulletin no. 396. P. 20-21.
- Sink, S.E., K.F. Knowlton y J.H. Herbein. 2000. Economic and environmental implications of overfeeding phosphorus on Virginia dairy farms. *J. Anim. Sci.* 78(Suppl. 2):4.
- Smith, R.A. y R.D. Alexander. 2000. Sources of nutrients in the nation's watershed. En *Managing nutrients and pathogens from animal agriculture*. Natural Resources Agriculture and Engineering Service (NRAES). Camp Hill PA. Pp. 13 21.
- Sotomayor-Ramírez, D., T. Ruiz y G. Martínez. 2003. Phosphorus balance on dairy farms of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P. R.* 87:59-64.
- Sotomayor-Ramírez, D., G.A. Martínez y L.J. Olivieri. 2001. Phosphorus status of stream waters in Puerto Rico: 1989-1997. *J. Agric. Univ. P.R.* 85:1-16.
- Sotomayor-Ramirez, D. G.A. Martinez, R.S. Mylavarapu, O. Santana y J.L. Guzman. 2004. Phosphorus soil test for environmental assessment in subtropical soils. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 35:1485-1503.
- Spears, R. A. A. J. Young, and R. A. Kohn. 2003. Whole-Farm Phosphorus Balance on Western Dairy Farms . *J. Dairy Sci.* 86: 688-695.
- Spiekens, H., R. Brintrup, M. Balmelli y E. Pfeffer. 1993. Influence of dry matter intake on fecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 69:37-43.
- Steevens, B.J., L.J. Bush, J.D. Stout y E.I. Williams. 1971. Effects of varying amounts of calcium and phosphorus in rations for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54:655-661.

- Tamminga, S. 1992. Nutrition Management of dairy cows as a contributing to pollution control J. Dairy Sci: 75:345-347.
- Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutrition strategies in ruminants. J. Anim. Sci. 74:3112-3124.
- Tomlinson, A.P., W.J. Powers, H.H. Van Horn, R.A. Noerthstedt y C.J. Wilcox. 1996. Dietary protein effects on nitrogen excretion and manure characteristics of lactating cows. Trans ASAE 39:1441.
- Tozer, P.R., F. Bargo y L. D. Muller. 2004. The Effect of Pasture Allowance and Supplementation on Feed Efficiency and Profitability of Dairy Systems. J. Dairy Sci. 87:2902–2911.
- Tunney, H., O.T Carton, P.C. Brooke y A.E. Johnston, 1997. Phosphorus loss from soil to water. CABI INTERNATIONAL, Willingford, Oxon.
- USDA-NRCS. 2002. Caribbean Area Phosphorus Index. A planning Tool to Assess and manage P movement. USDA Natural Resources Conservation Service. Conservation and Univ. of P.R. Mayagüez. P.R.
- USDA-NRCS. 2001. USDA Natural Resources Conservation Service. Conservation Standard. Nutrient Management. CODE 590, Part 402. NRCS. Washington, DC.
- USDA-NRCS. 2000. Guía técnica de para la planificación total del manejo de nutrimentos. www.nrcs.usda.gov/programas/afo/pdf.
- United States Environmental Protection Agency. 2000. Proposed regulations to address water pollution from concentrated animal feeding operations. Washington, DC.
- United States Environmental Protection Agency. 2002. Operaciones concentradas de alimentación de animals (CAFOs). Requisitos establecidos por la Ley de Aguas Limpias. USDA-EPA Washington DC. Folleto EPA 833-F-02-018.
- Van Horn, H.H. 1991. Achieving balance of nutrient flow through animal production systems. Prof. Anim. Sci. 7:15-32.
- Van Horn, H.H., A.C. Wilkie, W.J. Powers y R.A. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. J. Dairy. Sci. 77:2008-2030.
- Van Horn, H.H., G. L. Newton y W. E. Kunkle. 1996. Ruminant Nutrition from an Environmental Perspective: Factors affecting whole-farm nutrient balance. J. Anim. Sci. 74:3082-3102.

- Van Horn, H.H., Newton, G.L., Kidder, G., Woodard, K.R. y R.A. Nordstedt. 1998a. Managing Dairy Manure Accountably: Worksheets for Nutrient Management Planning. Circular 1196. Animal Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida.
- Van Horn, H.H., G.L. Newton, R.A. Nordstedt, E.C. French, G. Kidder, D.A. Graetz y C.F. Chameliss. 1998b. Dairy Manure Management: Strategies for recycling fertilizer nutrients to recover fertilizer value and avoid environmental pollution. Florida Extension Circular 1016 (revision of 1991 Circ. 1016), Florida Coop. Extension, IFAS, University of Florida, Gainesville. 23 pages.
- Valk, H., Metcalf, J.A. y P.J.A. Withers. 2000. Prospects for minimizing phosphorus excretion by dietary manipulation. *J. Environ. Qual.* 29:28-36.
- Valk, H. y L. B. J. Sebeck. 1999. Influence of prolonged feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2157-2163.
- Vazquez, O.P. y T.R. Smith. 2000. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:2301-2309.
- Vicente-Chandler, J., F. Abruña, R. Caro-Costas y S. Silva. 1983. Producción y utilización intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. E.E.A. UPR, Mayagüez, P.R. Boletín 271.
- Wales, W.J. Doyle P.T., Stockdale C.R. y D.W. Dellow. 1999. Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39:119-130.
- Wang, S. J., D. G. Fox, D. J. Cherney, S. D. Klausner y D. R. Bouldin. 1999. Impact of dairy farming on well water nitrate level and soil content of phosphorus and potassium. *J. Dairy Sci.* 82:2164-2169.
- Wang, S.J., S.G. Fox, D.J.R. Cherney, L.E. Chase y L.O. Tedeschi. 2000. Whole herd optimization with the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. III Application of an optimization model to evaluate alternatives to reduce nitrogen and phosphorus mass balance. *J. Dairy Sci.* 83:2160-2169.
- Wasserman, R.H. 1981. Intestinal absorption of calcium and phosphorus. *Fed. Proc.* 40:68.
- Wu, Z. y L.D. Satter. 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.* 83:1052-1063.

- Wu, Z., L.D. Satter y R. Sojo. 2000. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *J. Dairy Sci.* 83:1028-1041.
- Wu, Z., L.D. Satter, A. J. Blohowiak, R. H. Stauffacher y J.H. Wilson. 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.* 84: 1738-1748.
- Yanke, L.J., H.D. Bae, L.B. Selinger y K.J. Cheng. 1998. Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. *Microbiology.* 144:1565-1573.

APENDICES

Apéndice 1.1. Cuestionario

Estudio de prácticas de manejo de nutrientes en las vaquerías de Puerto Rico

Objetivo

Estudiar o evaluar las prácticas de manejo de nutrientes en las vaquerías de Puerto Rico. Se escogerá un grupo representativo de las vaquerías del país (10) para poder analizar sus prácticas de manejo de nutrientes y estimar el balance de P a nivel de la finca. Esta información permite evaluar una posible relación entre ambas.

Fecha _____

1. Nombre de la empresa, Dueño:

2. Dirección:

3. Aspectos generales de la finca

a. Cabida total de la finca (cuerdas):

i. Caminos, áreas no accesibles para pastoreo (estimado en cuerdas) _____

b. Número de cercados: (Vacas lactantes) _____

c. Número de animales en la finca (al momento de la encuesta):

i. Lecheras _____

ii. Horras _____

iii. Novillas _____

iv. Becerros(as) _____

v. Toros _____

vi. Vacas que salen de la finca anualmente (% de descarte)(Información del DHIA) _____

d. ¿Divide las vacas lactantes en grupos? Si No

Razón para dividir:

Producción núm. de grupos _____

□ Etapa de lactación núm. de grupos _____

Grupo _____ núm. de vacas _____

Grupo _____ núm. de vacas _____

e. Uso de los cercados (Ej. Pastoreo, corte-heno, henilaje)

vii. Pastoreo _____(cuerdas)

viii. Heno _____ (cuerdas)

ix. Henilaje _____ (cuerdas)

x. Ensilaje _____(cuerdas)

f. Área de pastos mejorados _____ (cuerdas)

h. Especies de gramíneas predominantes (Ej. estrella, malojilla,)

(Máximo 3)

1. _____

2. _____

3. _____

4. Prácticas de Alimentación

a. Uso de concentrado (cantidad y tipo (Ej. 18 % proteína)

(Lbs. /vaca ó quintales/día)

i. Vacas Lactantes

1. Lechero Tipo _____ cantidad _____

2. Bulky Tipo _____ cantidad _____

ii. Vacas Horras

1. concentrado Tipo _____ cantidad _____

iii. Novillas 400 lbs. o más

1. Concentrado Tipo _____ Cantidad _____

iv. Becerras 120-150 lbs. o más (que estén fuera de la becarrera)

1. Concentrado Tipo _____ Cantidad _____

v. Toros

1. Concentrado Tipo _____ cantidad _____

vi. Otros

1. Concentrado Tipo _____ cantidad _____

b. Cada cuanto tiempo le entregan concentrado (cada 2 días, semanal, mensual)

Cantidad (lbs, quintales) _____

c. Utilización de Forraje

i. Grupo de animales:

1. Vacas lactantes

a. Pastoreo - núms. de cercados _____ (cuerdas
totales en pasto) _____

b. Heno Tipo _____ cantidad _____

c. Henilaje Tipo _____ cantidad _____

d. Ensilaje Tipo _____ cantidad _____

2. Horras

a. Pastoreo - núms. Cercado _____ (cuerdas totales
en pasto) _____

b. Otros Forrajes conservados _____ Cantidad

3. Novillas (400 lbs o más)

a. Pastoreo- núms. cercado _____
(Cuerdas totales en pasto) _____

b. Otros Forrajes conservados _____ Cantidad _____

4. Becerros (150-400lbs)

a. Pastoreo - núms. cercado _____
(Cuerdas totales en pasto) _____

b. b. Otros Forrajes conservados _____ Cantidad _____

5. Toros

a. Pastoreo - núms. cercado ____ (cuerdas totales en pasto) _____

b. Heno _____

d. Método de pastoreo

1. Tiempo aproximado (horas al día de pastoreo) (noche o día)

2. Duración de la rotación (Ej. 10 a 20 días) _____

e. Forrajes conservados (heno, ensilaje, henilaje)

lo produce en su finca

Tipo _____ cuerdas en producción _____

Tipo _____ cuerdas en producción _____

lo compra

Tipo _____ Cantidad _____

Tipo _____ Cantidad _____

f. Consumo de forrajes conservados por vacas lactantes

(cantidad/ vaca/día) o (# de pacas/ # animales)

1. Heno (gramíneas) _____ Cantidad _____

2. Henilaje _____ Cantidad _____

3. Ensilaje _____ Cantidad _____

4. Alfalfa _____

g. Uso de suplementos (Ej. Solubmol, melaza, etamol, ensilaje de pescado, etc.)

i. Lecheras _____ cantidad _____

ii. Horras _____ cantidad _____

iii. Novillas _____ cantidad _____

5. Producción de leche

a. Leche producida últimos 2-3 días :

Fecha de entrega, cuartillos producidos y # de vacas en ordeño

i. Fecha _____ cuartillos _____ # vacas _____

- ii. Fecha _____ cuartillos _____ # vacas _____
- iii. Fecha _____ cuartillos _____ # vacas _____

6. Practicas de manejo de desperdicios de la finca

- a. Tipo de almacenaje (escoge)
 - Charca de oxidación
 - Tanque de almacenamiento
- b. Dimensiones (largo x ancho x profundidad) _____
- c. Cada cuanto tiempo vacía la charca (días, meses) _____
- d. Utiliza riego de estiércol para abonar los pastos (Si ___) (No ___)
 - i. Número de cercados donde se aplica _____
 - ii. Tipo de animal que utiliza los pastos abonados con desperdicios (escoge)
 - Lactantes
 - Horras
 - Novillas
- e. Si utiliza riego especifique:
 - i. Tipo de bomba (centrifuga, etc.) _____
 - ii. Capacidad de aplicación la bomba (gal. /min.) _____
- f. Grupos de animales que aportan desperdicios a la charca (Ej. Lecheras solamente, lecheras + novillas, etc.):
 - Lecheras Novillas
 - Becerrera Horras
- g. Exportan estiércol de su vaquería.
 - i. Seco cantidad _____
 - ii. Húmedo cantidad _____
 - iii. Tiempo que permanece en la finca antes de ser exportado (días, meses) _____

7. Uso de Fertilizante Inorgánico

- a. Tipo de abono (formulación (Ej. 15-5-10, 10-10-10, otros)

- b. Predios fertilizados

- Lecheras Cantidad _____ frecuencia _____
- Hurras Cantidad _____ frecuencia _____
- Novillas Cantidad _____ frecuencia _____

8. Utilización de agua en la finca

- Utiliza agua de pozo
- Utiliza agua de acueducto

Apéndice 1.2. Análisis de P en el suelo de la finca B¹

Predio	P (Olsen)		pH	Símbolo	Serie de suelo
	20022	2004			
Frente	82.3	94.57	6.75	CdB	Candelero
#2	42.5	88.57	6.53	CdB	Candelero
#3	52.3	67.61	6.38	CdB	Candelero
#4	11.9	47.81	6.34	CdB	Candelero
V.Baja	52.53	165.28	6.9	PaE2	Pandura
Falda	20.8	108.74	6.73	SaE2	Sabana
Mont.	52.41	106.08	6.94	PaE2	Pandura
P. Gorda	82.57	88.09	6.58	PaE2	Pandura
Lola	43.61	53.15	6.58	PaE2	Pandura
Pileta	2.13	28.55	7.05	CbF2	Caguabo

¹Prueba realizada por el método (Olsen). Muestra tomada a 3 pulgadas del suelo.

²Prueba realizada por el servicio de extensión agrícola

Apéndice 1.3. Análisis de P en el suelo de 10 vaquerías utilizadas en el estudio de balance de P en Puerto Rico

Lugar	Fecha	Predio	Profundidad Muestreo	P Olsen mg/kg	P Bray mg/kg	Pistero	Símbolo	Serie de Suelo
CamuyL	14/5/04	Pastoreo	0-3 pulg	213.47	256.08	X	SgF	San German
CamuyL	14/5/04	Pastoreo	0-7 pulg	180.29	205.91	X	SgF	San German
CamuyL	14/5/04	Lado Charca	0-7 pulg	205.68	181.1	X	SgD	San German
CamuyL	14/5/04	Lado Charca	0-3 pulg	208.08	229.08	X	SgD	San German
CamuyBC	25/5/04	Bajas Prod.	0-3 pulg	180.18	164.61	X	ByC	Bayamón
CamuyBC	25/5/04	Bajas Prod.	0-7 pulg	182.89	141.64	X	ByC	Bayamón
CamuyBC	25/5/04	Altas Prod.	0-7 pulg	81.91	87	X	VaS2	Vega Alta
CamuyBC	25/5/04	Altas Prod.	0-3 pulg	98.51	105.73	X	VaS2	Vega Alta
HatilloTC	13/5/04	Altas Prod.	0-3 pulg	173.09	168.71	X	AnB	Almirante
HatilloTC	13/5/04	Altas Prod.	0-7 pulg	155.82	219.89	X	AnB	Almirante
HatilloTC	13/5/04	Bajas Prod.	0-3 pulg	187.71	221.47	X	AnB	Almirante
HatilloTC	13/5/04	Bajas Prod.	0-7 pulg	198.23	193.19	X	AnB	Almirante
IsabelaRB	6/5/2004	Henilaje	0-3 pulg	95.91	108.74	X	CuB2	Coto
IsabelaRB	6/5/2004	Henilaje	0-7 pulg	39.46	57.99	X	CuB2	Coto
IsabelaRB	6/5/2004	Predio Tarde	0-7 pulg	83.99	10.3	Y	SeB	Santa Clara
IsabelaRB	6/5/2004	Predio Tarde	0-3 pulg	111.49	18.05	Y	SeB	Santa Clara
IsabelaRB	6/5/2004	Henilaje 1	0-3 pulg	40.63	61.63	X	CuB2	Coto
IsabelaRB	6/5/2004	Henilaje	0-7 pulg	43.25	77.83	X	CuB2	Coto
HatilloJF	27/5/04	Lado Vaq.	0-3 pulg	333.88	169.85	X	ByC	Bayamón
HatilloJF	27/5/04	Lado Vaq.	0-7 pulg	269.12	173.86	X	ByC	Bayamón
QuebradillasJD	11/5/2004	Predio Charca	0-3 pulg	159.3	178.99	X	AbC2	Aceitunas
QuebradillasJD	11/5/2004	Predio Charca	0-7 pulg	145.67	133.25	X	AbC2	Aceitunas
QuebradillasJD	11/5/2004	Predio Guinea	0-7 pulg	24.3	16.48	Y	AbC2	Aceitunas
QuebradillasJD	11/5/2004	Predio Guinea	0-3 pulg	38.8	31.09	Y	AbC2	Aceitunas
UtuaodM	28/5/04	Loma	0-3 pulg	13.15	3.42	Y	--	--
UtuaodM	28/5/04	Loma	0-7 pulg	8.56	1.39	Y	--	--
UtuaodM	28/5/04	Pistero	0-3 pulg	14.3	0.62	X	--	--
HumacaoHA	2/6/2004	Cruce	0-3 pulg	43.52	10.64	Y	JuC	Junquitos
HumacaoHA	2/5/2004	Cruce	0-7 pulg	46.68	15.15	Y	JuC	Junquitos
Las PiedrasEA	2/6/2004	Altas Prod.	0-3 pulg	48.88	9.74	Y	MaB	Mabí
San LorenzoHJ	14/7/04	Jalda	0-3 pulg	33.65	21.28	Y	PdF	Pandura
San LorenzoHJ	14/7/04	Jalda	0-7 pulg	28.26	20.23	Y	PdF	Pandura
San LorenzoHJ	14/7/04	pistero	0-3 pulg	119.03	106.91	X	PdF	Pandura

X -el predio muestreado tiene pisteros para riego de los desperdicios.

Y -el predio muestreado no tiene pisteros para riego de los desperdicios.