

HISTORIA NATURAL DEL CERRO MUTÚN: III. RIQUEZA Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA (*alfa* y *beta*)

NATURAL HISTORY OF CERRO MUTÚN: III. RICHNESS AND FLORISTIC DIVERSITY (*alpha* and *beta*)

Gina M. Aramayo^{1,2}, Mayra T. Martínez^{1,2}, G. Alexander Parada¹, I. Yanina Inturias¹, Vanessa Miranda², L. Angel Bustamante² & Daniel Villarroel^{1,3*}

¹Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Av. Irala 565, Casilla 2489, Santa Cruz, Bolivia. *E-mail: danielvillarroel81@hotmail.com

²Carreras de Biología y Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, El Vallecito Km. 9 carretera al Norte, Casilla 702, Santa Cruz, Bolivia.

³Programa de Pós-Graduação em Botânica e Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal, 70904-970, Brasil.

Resumen. El Cerro Mutún por sus particularidades geológicas se constituye en un área con alto potencial de biodiversidad que en la actualidad no se encuentra documentada científicamente y que está seriamente amenazada por la minería. Por tal motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la riqueza y diversidad (*alfa* y *beta*) de la vegetación del Cerro Mutún. Para este fin, se implementaron 26 parcelas temporales de muestreo de 0.1 ha (50 x 20 m). En cada parcela se cuantificó a todos los individuos ≥ 5 cm de diámetro medidos a 30 cm del suelo (inventario cuantitativo); registrando también a todas las especies < 5 cm de diámetro (inventario cualitativo). La diversidad *beta* fue determinada mediante un Análisis de Coordenadas Principales (PCoA), aplicado en base a los inventarios cualitativo y cuantitativo; y la diversidad *alfa* con los índices de Shannon (H') y Simpson (S); así también, realizamos la estimación de la riqueza de especies aplicando los modelos matemáticos de *Chao 2* y *Bootstrap*. Como resultado identificamos seis comunidades vegetales (diversidad *beta*), siendo estas: bosque semidecíduo chiquitano (BCh), bosque chiquitano edafohidrófilo (BChE), cerrado (Ce), cerrado *sensu stricto* (CSS), campo sujo (CS) y vegetación saxícola de afloramientos rocosos (VS). En todas las comunidades se registró un total de 389 especies, 272 géneros y 85 familias. La mayor diversidad de especies leñosa ($H'=2.66$; $S=13.09$) y riqueza florística (observada=142; *Chao 2*=192; *Bootstrap*=167) fue identificada en el Ce, estando los niveles más bajos de diversidad leñosa en el CS ($H'=1.21$; $S=3.80$), y riqueza florística en el BCh (observada=90; *Chao 2*=109; *Bootstrap*=104). La familia con mayor representatividad taxonómica en todas las comunidades vegetales fue Fabaceae, seguida de otras como Rubiaceae, Sapindaceae y Bignoniaceae en el BCh y BChE, y Asteraceae, Poaceae y Euphorbiaceae en las formaciones sabánico-campestre.

Palabras claves: Cerrado, diversidad, hierro, minería, riqueza de especies.

Abstract. Due to its geological peculiarities, the Cerro Mutún is an area with high potential for biodiversity that currently is not well documented in scientific terms, and also is threatened by iron mining activities. The present study aims to inventory and quantify the richness and floristic diversity (*alpha* and *beta*) of the Cerro Mutún. For this purpose, 26 temporary sampling plots were implemented, each of 0.1 ha (50 x 20 m). In each plot, all individuals ≥ 5 cm in diameter were measured at 30 cm from the ground (quantitative inventory); and we also registered all the

other species < 5 cm of diameter (qualitative inventory). The beta diversity was determined by a Principal Coordinate Analysis (PCoA), applied based on the qualitative and quantitative inventories; and the alpha diversity with the Shannon (H') and Simpson (S) indexes; we also performed the estimation of species richness using parametric and nonparametric diversity estimators (*Chao 2* and *Bootstrap*). We identified six plant communities (*beta* diversity), which are: *bosque semideciduo chiquitano* (BCh), *bosque chiquitano edafohidrófilo* (BChE), *cerradão* (Ce), *cerrado sensu stricto* (CSS), *campo sujo* (CS) and *vegetación saxícola de afloramientos rocosos* (VS). A total of 389 species, 272 genera and 85 families were registered in all communities. The greatest diversity of woody species ($H'=2.66$, $S=13.09$) and floristic richness (observed=142, *Chao 2*=192, *Bootstrap*= 67) was identified in the Ce, with the lowest levels of woody diversity in the CS ($H'=1.21$, $S=3.80$), and the floristic richness in the BCh (observed=90, *Chao 2*=109, *Bootstrap*=104). The family with the greatest taxonomic representation in all plant communities was Fabaceae, followed by others such as Rubiaceae, Sapindaceae and Bignoniaceae in the BCh and BChE, and Asteraceae, Poaceae and Euphorbiaceae in the savanna-grassland formations.

Key words: Cerrado, diversity, iron, mining, species richness.

INTRODUCCIÓN

El Cerrado es el segundo bioma más grande de Sudamérica después del Amazonas, estando distribuido principalmente en el Centro de Brasil, de donde se expande hasta el Este de Bolivia y Noroeste de Paraguay, aunque en proporciones territoriales más pequeñas (Eiten, 1972; Navarro, 2011; Villarroel, 2011; Villarroel *et al.*, 2016).

La vegetación del Cerrado se caracteriza por presentar una heterogeneidad de hábitats, la cual se refleja en su complejidad fisionómica, estando compuesta por formaciones campestres, sabánicas y boscosas, conformando así, los denominados mosaicos de vegetación (Killeen *et al.*, 1993; Ribeiro & Walter, 2008, Mamani *et al.*, 2010; 2011; Villarroel *et al.*, 2016).

El Cerrado en Brasil, es considerado como uno de los 25 ecosistemas *hotspot* de biodiversidad a nivel mundial, esto debido a sus altos niveles de diversidad y endemismo, y su acelerada tasa de deforestación y sustitución de la vegetación (Myers, 2000), principalmente por actividades ganaderas, agrícolas, mineras y expansión demográfica, por lo cual también se la cataloga como uno de los ecosistemas con mayor vulnerabilidad (Furley, 1999; Cardoso da Silva & Bates, 2002). Por otro lado, en Bolivia, de forma general, el Cerrado aún se caracteriza por presentar un buen estado de conservación en comparación a la situación de Brasil (Ibisch & Mérida, 2003). No obstante, las amenazas potenciales de destrucción y sustitución de las áreas naturales son las mismas, principalmente por la deforestación, el cambio de uso de suelo y en los últimos años por las iniciativas de explotación minera (Mamani *et al.*, 2010; 2011).

Una de las áreas del Cerrado en Bolivia que presenta un alto grado de amenaza es el Cerro Mutún (Mamani *et al.*, 2010; 2011), puesto que, al ser considerada una de las reservas de hierro y manganeso más grandes del mundo (Ribera, 2008; Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016), se ha convertido en el principal potencial económico de dicha región (Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016). Sin embargo, con la ejecución de las actividades de explotación minera en el Cerro

Mutún, casi seguramente se producirán una serie de impactos irreversibles sobre la biodiversidad, la misma que hasta ahora no ha sido estudiada y catalogada científicamente.

Ante esta situación es que en el presente estudio analizamos la diversidad *alfa* y *beta* de la vegetación del Cerro Mutún (tercer manuscrito del proyecto *HISTORIA NATURAL DEL CERRO MUTÚN*), con la finalidad de contribuir con información científica, sustentada y documentada, la cual podrá ser utilizada como un instrumento de línea base para la gestión, manejo y conservación de nuestro patrimonio biológico local y nacional; incrementando así además, el conocimiento de la biodiversidad boliviana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Cerro Mutún se encuentra ubicado aproximadamente a 35 Km al Sur de Puerto Suarez (Prov. Germán Busch, Santa Cruz), estando dividida entre Bolivia y Brasil (Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016) (Figura 1). Su altitud varía de entre 100 y 800 m, presentando situaciones topográficas de valles, laderas suaves a pronunciadas y con cimas amplias a agudas (Villarroel *et al.*, 2009; Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016).

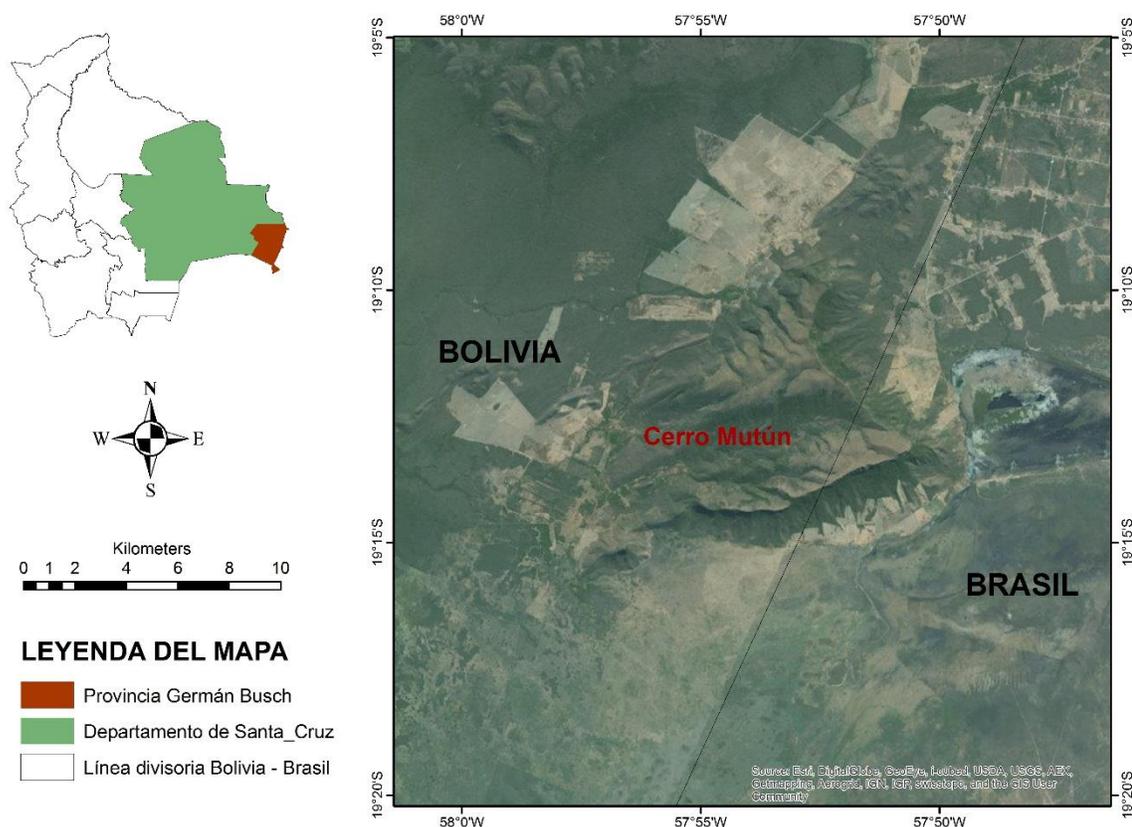


Figura 1. Ubicación geográfica del Cerro Mutún, Provincia Germán Busch, Departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Colinda con otras formaciones montañosas de la región, tal como el denominado Morro de Urucúm (Brasil), donde actualmente se desarrollan intensas actividades de extracción de hierro (Damasceno-Junior, 2005; Takahasi, 2010). Estas dos formaciones montañosas que se distinguen en la región son parte de la misma formación geológica que fue originada durante el Precámbrico, presentando rocas con alto contenido de hierro y manganeso (Damasceno-Junior, 2005; Takahasi, 2010; Ribera, 2011; Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016), constituyéndose como bloques tectónicamente elevados en medio de la planicie del Pantanal (Damasceno-Junior, 2005), la cual poseen sustratos recientes originados en el cuaternario (Villarroel *et al.*, 2016).

Diseño de muestreo

El diseño de muestreo que aplicamos para el estudio fue de tipo estratificado (Mostacedo & Fredericksen, 2000). La distinción de los estratos fue definida utilizando el criterio fisionómico de la vegetación (Ribeiro & Walter, 2008; Villarroel *et al.*, 2016), los cuales fueron identificados mediante un recorrido previo a la toma de datos, y durante los cuales también se seleccionaron los puntos de muestreo (Anexo 1).

Muestreo y toma de datos

Para el muestreo se instalaron una serie parcelas temporales de muestreo (PTM) por cada estrato identificado (fisionomía). La superficie de cada PTM fue de 0.1 ha, y tuvo un diseño de 50 x 20 m. Dentro de cada PTM se aplicaron dos tipos de inventarios, las cuales fueron: i) **cuantitativo**, aplicado específicamente para la vegetación leñosa, y consistió en registrar e identificar a todos los individuos ≥ 5 cm de diámetro medidos a 30 cm del suelo, tal como lo indica Felfili *et al.* (2005) para el estudio de la vegetación del cerrado *sensu lato*; y ii) **cualitativo**, la cual consistió en registrar a todas las especies (árboles, arbustos, lianas, hierbas, palmeras, etc.) que estuviesen dentro de los límites de la PTM.

Colecta e identificación de especímenes

Debido a que el área del Cerro Mutún es considerada un vacío de información, todas las especies encontradas fueron colectadas, obteniendo así, una muestra testigo de su existencia. Un mínimo de cuatro especímenes fueron colectadas de las especies fértiles, y dos de las estériles. Los especímenes colectados fueron depositados en el Herbario del Oriente Boliviano (USZ) del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado (Universidad Autónoma Gabriel René Moreno), y el Herbario de Brasilia (UB). El sistema taxonómico utilizado para la designación de familias fue el propuesto por el APG III (Grupo Filogenético de las Angiospermas) (APG 2009), y a nivel de género y especie, el indicado por Jørgensen *et al.* (2014) en el catálogo de la flora de Bolivia.

Análisis de datos

Diversidad *beta*

Para la determinación de la diversidad *beta* se realizó un *Análisis de Coordenadas Principales (PCoA)*, utilizando como base una matriz de similaridad de *Sørensen*. Este análisis fue realizado utilizando la información de presencia y/o ausencia de especies obtenidos de los inventarios cualitativos, y también utilizando la información de abundancia de leñosas (leñosas ≥ 5 cm de

diámetro), que fue registrada en los inventarios cuantitativos. El *PCoA* fue realizado con el programa *PC-Ord v.6.07*.

Riqueza y diversidad *alfa*

La riqueza florística (riqueza específica) fue cuantificada mediante la sumatoria acumulativa de especies registradas en las parcelas dentro de cada comunidad vegetal identificados previamente con el *PCoA*. Así también, basados en estos valores de acumulación, realizamos las estimaciones potenciales de riqueza de especies utilizando los estimadores matemáticos de *Chao 2* (Chao & Lee, 1992) y *BOOTSTRAP* (Palmer, 1990). Estos análisis fueron calculados con el programa *StimateWin v.9.1* y los resultados fueron expresados en una tabla donde comparamos los valores observados y esperados.

La diversidad *alfa*, obtenida por cada comunidad vegetal en base a la información de los inventarios cuantitativos, fue calculada utilizando los índices de Shannon-Wiener (H') y Simpson (S) (Mostacedo & Fredericksen, 2000; Moreno, 2001), y promediada por cada 0.1 ha de superficie (PTM). Todos estos cálculos fueron realizados con el programa *Diversity & Rich v.7.1*.

RESULTADOS

Datos generales

Se estableció un total de 26 PTM, las cuales representan una superficie muestreada de 2.6 ha (Anexo 1). Dentro de estas 26 PTM fueron registrados un total de 85 familias, 271 géneros y 389 especies.

Diversidad *beta*

El *PCoA* cuantitativo separó las PTM en seis grupos, los cuales estarían diferenciadas florística y estructuralmente una de otra en cuanto su composición de especies leñosas (Figura 2A). Cada uno de estos grupos representó a una comunidad vegetal, las cuales denominamos como: i) bosque semidecíduo chiquitano (BCh); ii) bosque chiquitano edafohidrófilo (BChE); iii) cerrado (Ce); iv) cerrado *sensu stricto* (CSS); v) campo sujo (CS); y iv) vegetación saxícola de afloramientos rocosos (VS). Así también, el *PCoA* cualitativo (Figura 2B) presentó un patrón de agrupamiento similar al *PCoA* cuantitativo, excepto por una leve proximidad entre el CSS y el CS, las cuales según los resultados estarían más relacionadas florísticamente, principalmente por las especies de formas de vidas gramíneo-herbáceas (formas de vidas inventariadas con el muestreo cualitativo).

Sin embargo, pese a observar esta similaridad cualitativa entre el CSS y CS, podemos indicar que cada una de las seis comunidades vegetales posee una fisonomía y composición florística propia, lo cual permite identificarlas y diferenciarlas.

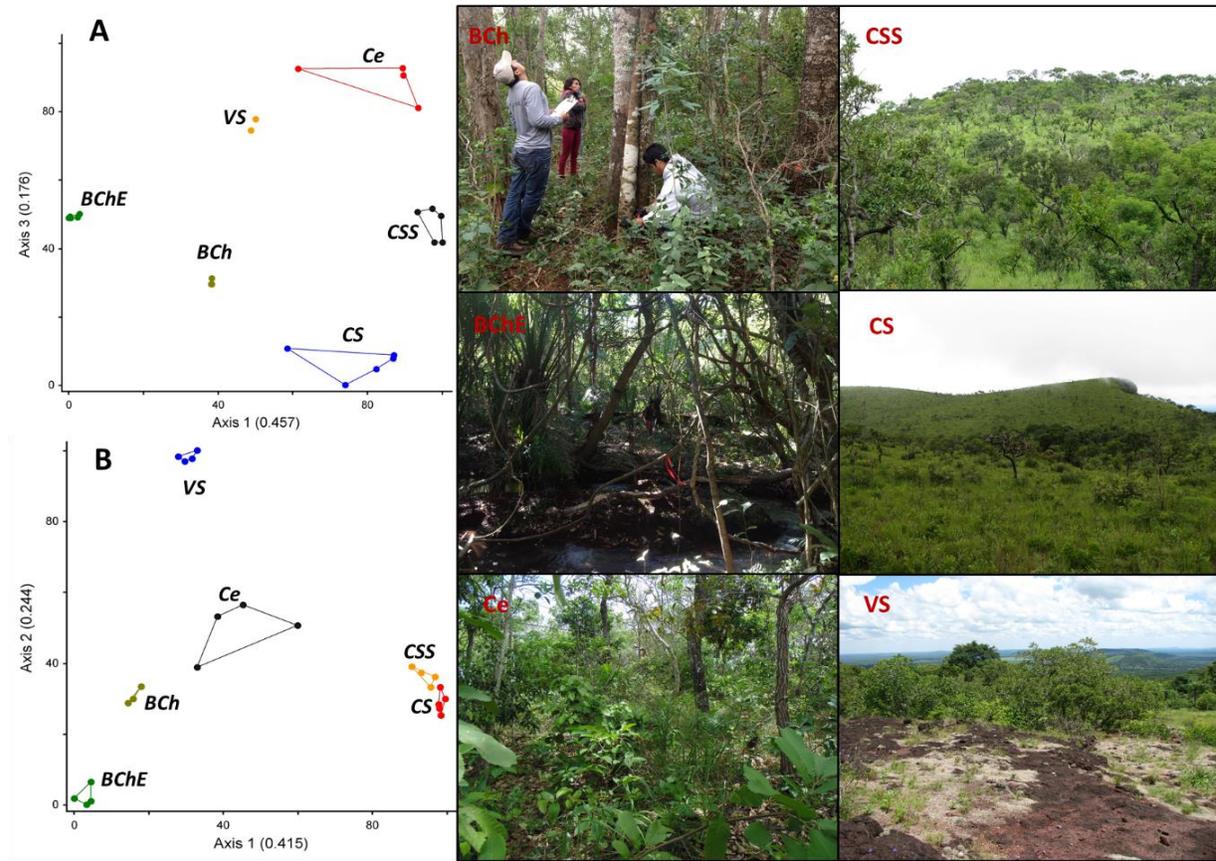


Figura 2. Análisis de ordenación cualitativo (A) y cuantitativo (B) de las PTM.

BCh= bosque semidecíduo Chiquitano, BChE= bosque Chiquitano edafohidrófilo, Ce= cerradão, CSS= cerrado *sensu stricto*, CS= campo sujo, VS= vegetación saxícola.

Riqueza florística

La mayor riqueza florística por PTM, así como también el total de riqueza observada y estimada fueron registradas en el Ce (74 spp/0.1ha ±8; observada=142; *Chao 2*=192; *Bootstrap*=167) (Tabla 1), cuyos valores superan sustancialmente al de las otras comunidades, inclusive a las de tipo boscosa, tales como el BCh (49 spp/0.1ha ±12; observada=90; *Chao 2*=109; *Bootstrap*=104) y BChE (49 spp/0.1ha ±2; observada=95; *Chao 2*=128; *Bootstrap*=109).

Tabla 1. Riqueza de especies observada y estimada por comunidad vegetal.

Comunidad Vegetal	RIQUEZA						
	spp/0.1ha		Observada	Estimada		% Registrado	
	Promedio	E.E.		Chao 2	Boopstrap	Chao 2	Boopstrap
BCh	49	12	90	109	104	82.6	86.5
BChE	49	2	95	128	109	74.2	87.2
Ce	74	8	142	192	167	74.0	85.0
CSS	61	3	106	134	120	79.1	88.3
CS	61	2	100	111	109	90.1	91.7
VS	62	6	108	135	122	80	88.5

BCh=bosque semidecíduo Chiquitano, BChE= bosque Chiquitano edafohidrófilo, Ce=cerradão, CSS= cerrado *sensu stricto*, CS= campo sujo, VS=vegetación Saxícola.

Por otro lado, las comunidades sabánicas (CSS), campestres (CS) y saxícolas (VS) en general presentaron valores intermedios en relación al Ce y el BCh (Tabla 1).

Así también, la representatividad del esfuerzo de muestreo (riqueza observada vs. riqueza esperada) varió de acuerdo al modelo matemático. Según el modelo de *Bootstrap*, con la superficie muestreada se habría logrado registrar a más del 85% de las especies existentes en cada una de las comunidades vegetales, por lo que, el esfuerzo de muestreo puede ser considerado suficiente. Sin embargo, según el modelo de *CHAO 2*, el BChE y el Ce, son comunidades con un alto potencial de riqueza de especies aún no registradas, ya que, sólo se habría logrado registrar aproximadamente el 74% de sus especies, por lo que, de acuerdo a este estimador, todavía hay muchas especies que faltaría registrar, requiriéndose para ello un mayor esfuerzo de muestreo.

Diversidad alfa

De un total de 1.809 individuos leñosos inventariados cuantitativamente, se identificaron 41 familias, 97 géneros y 123 especies. De acuerdo a los índices de diversidad Shannon (H') y Simpson (S), la mayor diversidad de especies leñosas está concentrada en el Ce ($H'=2.66/0.1ha \pm 0.09$; $S=13.09/0.1ha \pm 1.23$), sobrepasando al BCh (43 spp.) y BChE (40 spp.), pese a tener una riqueza de especies leñosas total similar al del Ce (42 spp.). La comunidad vegetal donde se registró la menor diversidad de especies leñosas fue en el CS ($H'=1.21/0.1ha \pm 0.33$, $S=3.80/0.1ha \pm 0.99$), la cual junto con la VS poseen los valores más bajos de riqueza de especies leñosas (Tabla 2).

Tabla 2. Valor promedio de la diversidad de leñosas por comunidad vegetal.

Comunidad Vegetal	Shannon ($H'/0.1ha$)		Simpson ($S/0.1ha$)		Total spp.
	Promedio	E.E.	Promedio	E.E.	
BCh	2.47	0.09	6.76	0.84	43
BChE	2.30	0.17	7.63	1.44	40
Ce	2.66	0.09	13.09	1.23	42
CSS	2.39	0.06	9.95	0.93	24
CS	1.21	0.33	3.80	0.99	11
VS	1.73	0.14	8.06	2.06	10

BCh= bosque semidecíduo Chiquitano, BChE= bosque Chiquitano edafohidrófilo, Ce= cerradão, CSS= cerrado *sensu stricto*, CS= campo sujo, VS= vegetación saxícola.

Composición florística

Composición florística por comunidad vegetal

En general, las cinco familias representadas en el Tabla 3, congregan a más del 40% de los géneros y especies registrados en cada una de las comunidades vegetales (excepto en el BChE), valor que las posiciona como las más importantes taxonómicamente. Esta situación que no se observó en el BChE (< 34% de los taxones), nos indica que, esta comunidad vegetal, posee una mayor heterogeneidad y complejidad taxonómica en relación a las otras.

La familia con mayor número de géneros y especies en las seis comunidades vegetales fue Fabaceae (Tabla 3). Así también, las familias Rubiaceae, Bignoniaceae y Sapindaceae

estuvieron mejor representadas taxonómicamente en las comunidades boscosas (BCh y BChE), a partir de donde su riqueza fue disminuyendo de forma gradual, siendo sustituidas en las comunidades de CSS, CS y VS por otras familias predominantemente herbáceas, tales como Asteraceae, Poaceae y Euphorbiaceae.

Tabla 3. Las cinco primeras familias con mayor riqueza de géneros y especies en las seis comunidades vegetales del Cerro Mutún.

BCh			BChE			Ce		
Familia	Gén	Spp	Familia	Gén	Spp	Familia	Gén	Spp
Fabaceae	9	10	Fabaceae	10	10	Fabaceae	15	22
Malvaceae	7	8	Rubiaceae	5	6	Bignoniaceae	9	14
Bignoniaceae	5	7	Sapindaceae	4	5	Rubiaceae	7	8
Sapindaceae	5	7	Bignoniaceae	4	4	Euphorbiaceae	6	9
Rubiaceae	4	4	Meliaceae	3	6	Asteraceae	6	7
Total (%)	41	43	Total (%)	33	34	Total (%)	44	46
Otras Flias (%)	59	57	Otras Flias (%)	67	66	Otras Flias (%)	56	54
CSS			CS			VS		
Familia	Gén	Spp	Familia	Gén	Spp	Familia	Gén	Spp
Fabaceae	16	22	Fabaceae	14	24	Fabaceae	10	16
Asteraceae	10	12	Asteraceae	8	10	Malvaceae	7	11
Poaceae	7	10	Poaceae	6	9	Poaceae	7	10
Euphorbiaceae	5	10	Euphorbiaceae	5	13	Cyperaceae	5	9
Bignoniaceae	3	4	Myrtaceae	3	5	Asteraceae	4	4
Total (%)	54	59	Total (%)	55	64	Total (%)	40	52
Otras Flias (%)	46	41	Otras Flias (%)	45	36	Otras Flias (%)	60	48

BCh=bosque semidecíduo Chiquitano, BChE= bosque Chiquitano edafohidrófilo, Ce=cerradão, CSS= cerrado *sensu stricto*, CS= campo sujo, VS=vegetación Saxícola.

DISCUSIÓN

Diversidad beta

Variables ambientales como la altitud, situación topográfica y las características edáficas (textura, estructura, profundidad, pH, etc.) entre otros (Mostacedo, 1995; Damasceno-Junior, 2005; Navarro, 2011; Villarroel *et al.* 2009; Villarroel *et al.* 2016), parecen ser los principales factores que estarían condicionando y ocasionando el recambio de la composición de especies entre las comunidades vegetales identificadas en el Cerro Mutún.

En el Cerro Urucún, el cual es parte de la misma formación geológica del Cerro Mutún (Pinto-Ledezma & Villarroel, 2016), Damasceno-Junior (2005) determinó que las variaciones fisionómicas de la vegetación está estrechamente relacionada con la altitud, puesto que, en las partes más bajas (valles y laderas) los suelos llegan a ser más profundos y poseen mayor disponibilidad de nutrientes, lo cual permite el establecimiento de comunidades vegetales boscosa. Por otro lado, en las partes más altas (cima) los suelos presentan mayor saturación, pedregosidad y menor disponibilidad de nutrientes, lo que ocasiona que la densidad de especies leñosas disminuya, incrementándose a su vez la vegetación gramíneo-herbácea. Estas mismas observaciones fueron reportadas por Villarroel *et al.* (2009) para el Cerro Mutún, excepto por

la VS, cuya presencia no depende de la altura, sino más bien de la aparición de zonas con afloramientos rocosos.

Según Walter (2006), el recambio y similaridad de especies en las fisionomías del cerrado *sensu lato* está relacionada con el predominio de las formas de vida, es decir que, las formaciones vegetales con mayor predominio de un estrato leñoso serán más similares entre sí, así como también, serán más similares las fisionomías donde exista un mayor predominio de especies gramíneo-herbáceo. Este patrón indicado por Walter (2006), fue corroborado en el resultado del *PCoA* cualitativo, donde las PTM del CSS y el CS se presentaron bastante próximas. Esta misma situación también fue determinada por Killeen *et al.* (1998) y Mostacedo (1995) al estudiar y comparar dichas fisionomías en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado.

Riqueza y diversidad *alfa*

Debido a la gran variedad de metodologías aplicadas para el estudio de la vegetación del Cerrado, tanto en Bolivia (Mostacedo, 1995; Villarroel *et al.* 2009, 2010), como en Brasil (Felfili *et al.* 1994, Felfili & Felfili 2001, Felfili & Silva Júnior 2005, Damasceno-Junior 2005; Takahasi, 2010; Solórzano, 2011), es que, se hace bastante difícil realizar comparaciones objetivas con los resultados obtenidos en este estudio. Estas variaciones metodológicas identificadas van desde el diseño de las parcelas de muestreo (superficie evaluada), hasta la toma de datos (altura de medición del diámetro, diámetro mínimo de medición, etc.). Sin embargo, pese a estas diferencias metodológicas, realizamos comparaciones de la riqueza y diversidad siguiendo las principales tendencias por tipos fisionómicos obtenidas por diversos autores, tanto en Bolivia, como en Brasil.

Riqueza de especies

Las variaciones de la riqueza de especies entre una comunidad vegetal y otra se ve afectada por diferentes factores ambientales. En un estudio previo realizado por Villarroel *et al.* (2009) en el Cerro Mutún, los autores determinaron que la riqueza de especies gramíneo-herbáceas está estrechamente relacionada con el incremento o disminución de la cobertura leñosa. Esta relación entre la cobertura leñosa y riqueza de especies gramíneo-herbáceo, estaría explicando la baja riqueza de especies del BCh (43 spp. leñosas; 90 spp. en total) en relación a otras donde la forma de vida leñosa es poca representada (CSS= 24 spp. leñosas, 106 spp. total; CS= 11 spp. leñosas, 100 spp. total; VS=10 spp. leñosas, 108 spp. total). Este gradiente de variaciones en cuanto la riqueza de especies gramíneo herbáceo en función a la cobertura leñosa, también es abordado por Ribeiro & Walter (2008) para el Cerrado en Brasil, y Villarroel *et al.* (2016) en Bolivia.

La baja riqueza de especies que hemos registrado en el BCh y el BChE en relación a las otras comunidades vegetales del Cerro Mutún, contradice lo tradicionalmente mencionado en varios estudios de carácter descriptivo-cualitativo, en los que, se destaca al bosque seco Chiquita no por su alta riqueza de especies (Killeen *et al.* 1993; Navarro & Maldonado, 2002; Jardim *et al.*, 2003; Vides-Almonacid *et al.*, 2007; Ibsch & Mérida, 2003; Navarro, 2011), subestimando así, el alto potencial de especies que poseen las formaciones campestres y sabánicas, tal como lo hemos demostrado en el presente estudio.

Diversidad de especies leñosas

De acuerdo con Killeen *et al.* (1998) y Villarroel *et al.* (2016), las variaciones de la riqueza y diversidad de leñosas de las comunidades vegetales que conforman al Cerrado, están directamente correlacionada con la forma de vida dominante. Sin embargo, de acuerdo a los resultados que hemos obtenido, este patrón sólo fue observado para la riqueza de especies y no así para la diversidad *alfa*, puesto que, según los índices de H' y S , la mayor diversidad de leñosas estaría concentrada en el Ce, una comunidad vegetal intermediaria entre formaciones boscosas (BCh; BChE) y sabánicas (CSS) (Cuadro 2). Este resultado puede ser debido a que el Ce posee especies con estructuras poblacionales mucho más proporcionales en relación a las otras comunidades, fenómeno que altera drásticamente los valores calculados por estos índices, los cuales llegan a ser independientes de los valores de riqueza (Moreno, 2001).

La diversidad obtenida para el Ce (2.66 H') y CSS (2.38 H') en el Cerro Mutún, llegan a ser próximas a las registradas por Toppa (2004) en un área de Ce (2.84 H') y CSS (2.68 H') en la Reserva Ecológica de Jataí del Estado de São Paulo (Brasil), extremo Oeste del Cerrado. Por otro lado, cuando comparados con valores de H' del Cerro Mutún con los de la región Central del Cerrado en Brasil, nuestros resultados son bajos, ya que la diversidad para esta región varía entre 3.06 y 4.00 H' en el Ce (Solórzano, 2011), mientras que para el CSS oscilan entre 3.04 y 3.73 H' (Felfili & Silva Junior, 2008).

En relación a la diversidad del BCh (2.47 H') y el BChE (2.30 H'), la diversidad que hemos obtenido llega a ser próxima al determinado por Mostacedo *et al.* (2009) para la región Central de la Chiquitanía en Bolivia, donde alcanza un promedio de 2.47 H' , con variaciones que van desde 1.50 a 3.05.

Finalmente, los bajos valores de diversidad de especies leñosas registradas en la VS y el CS, es atribuido a que, en ambas comunidades la presencia de árboles y arbustos es bastante escasa, siendo las formas de vida gramíneo-herbácea las más dominantes en relación a las leñosas, por lo cual, es donde se estaría concentrando la mayor cantidad de taxones.

Composición florística

La familia Fabaceae, la cual presentó el mayor número de taxones en las seis comunidades vegetales del Cerro Mutún, es una familia que en general se destaca taxonómicamente por su alta riqueza a lo largo del Neotrópico (Gentry, 1995). En Bolivia, Fabaceae corresponde a una de las familias más dominantes en la Chiquitanía (Killeen *et al.*, 1993; Jardim *et al.*, 2003). Así también, es considerada como una de las más diversas e importantes del Cerrado, tanto en Bolivia (Killeen *et al.*, 1993), como en Brasil (Mendonça *et al.*, 2008).

Por otro lado, existen familias que tienen un predominio taxonómico en ciertos tipos de hábitats, tal como fue el caso de Rubiaceae y Bignoniaceae que presentan una mayor riqueza de géneros y especies en el BCh y BChE, mientras que en el CSS, CS y VS predominaron las familias Asteraceae y Poaceae, corroborando lo indicado por Killeen *et al.* (1998) y Mostacedo (1995) en sus estudios de la vegetación del Cerrado en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado.

El CS, donde la forma de vida más característica corresponde a especies gramíneo-herbáceo, son las familias Fabaceae, Asteraceae y Poaceae las cuales se posicionan como las más

importantes taxonómicamente (Walter, 2006; Villarroel *et al.*, 2016). Este mismo patrón taxonómico, también fue reportado por Tannus & Assis (2004) para los CS de Itirapina (Brasil), coincidiendo plenamente también con los resultados que hemos obtenido.

A diferencia de las demás comunidades vegetales, la composición florística de la VS de los afloramientos rocosos del Cerro Mutún, se encuentra fuertemente condicionada a los factores ambientales extremos, tales como la alta radiación, la escasez de agua, la escasa profundidad del suelo, y el sustrato rocoso, similar a lo que ocurre en otros afloramientos rocosos en la Chiquitania (Mostacedo *et al.*, 2001) y la región (Takahasi, 2010).

CONCLUSIONES

La vegetación del Cerro Mutún fue clasificada en seis comunidades vegetales, las cuales se diferenciaron florística y estructuralmente de acuerdo a los análisis de ordenaciones, estas comunidades fueron: bosque semideciduo Chiquitano (BCh), bosque Chiquitano edafohidrófilo (BChE), cerradão (Ce), cerrado *sensu stricto* (CSS), campo sujo (CS) y vegetación saxícola (VS).

La mayor riqueza y diversidad de especies fue encontrada en el Ce, una comunidad vegetal intermediaria entre las formaciones boscosas y sabánicas. Sin embargo, es preciso indicar que, aunque algunas comunidades vegetales hayan presentado diferentes niveles de riqueza y diversidad, esto no significa que tengan que ser consideradas como más o menos prioritarias para su conservación, puesto que, cada comunidad vegetal posee distintos elementos florísticos, los cuales no sólo la caracterizan y le dan una identidad propia, sino que también forma parte de todo el mosaico de vegetación que es el Cerrado.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a las Carreras de Biología y Ciencias Ambientales de la Universidad Gabriel René Moreno por el apoyo logístico. Daniel Villarroel agradece a la CAPES/PEC-PG por haber concedido su beca de doctorado. Este estudio fue financiado por la **Rufford Small Grants Foundation** (Proyecto RSG 13513-1).

LITERATURA CITADA

- APG-III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161:105-121.
- CARDOSO, J.M. & J.M. BATES. 2002. Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *BioScience* 52(3):225-234.
- CAMILOTTI, D.C.; A. CARDOSO & T.C. STOCCO. 2011. Análise da vegetação arbórea de um remanescente de Cerradão em Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia* 66(1):31-46.
- CHAO, A. & M. LEE. 1992. Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of the American Statistical Association* 87:210-217.

- DAMASCENO-JUNIOR, G.A. 2005. Estudo florístico e fitossociológico de um gradiente altitudinal no planalto residual do Urucum – Mato Grosso do Sul – Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- EITEN, G. 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.
- FELFILI, J.M. & M.C. SILVA JUNIOR. 1993. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9:277-289.
- FELFILI, J. M.; F.A. CARVALHO & R.F. HAIDAR. 2005. Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, DF.
- FELFILI, J.M.; J.C. SOUSA-SILVA & A. SCARIOT. 2005. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF..
- FELFILI, J.M. & C.W. FAGG. 2007. Floristic composition, diversity and structure of the “Cerrado” *sensu stricto* on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 30(3):375-385.
- FURLEY, P. 1999. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography* 8:223-241.
- GENTRY, A. H. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. Pp. 146–194, *en*: Seasonally dry tropical forests (Bullock, S.H.; Mooney, H.A. & Medina, E. eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- IBISCH, P.L. & G. Mérida. 2008. Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia, Estado de Conocimiento y Conservación. Editorial FAN, Santa Cruz.
- JARDIM, A.; T. KILLEEN & A. FUENTES. 2003. Guía de los árboles y arbustos del bosque seco Chiquitano, Bolivia. Missouri Botanical Garden, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Fundación Para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano. Editorial FAN, Santa Cruz.
- JØRGENSEN P.M.; M.H. NEE & S.T. BECK. 2014. Catálogo de plantas vasculares de Bolivia. Volumen I y II. Missouri Botanical Gardens Press. St. Louis.
- KILLEEN, T.J.; S.G. BECK & E. GARCIA. 1993. Guía de Árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia & Missouri Botanical Garden, La Paz.
- KILLEEN, T.J. & T.S. SCHULENBERG. 1998. A biological assessment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Bolivia. RAP Working Papers 10. Conservation International, Washington, D.C.
- MAMANI, F.; P. POZO; D. SOTO; D. VILLARROEL & J.R.I. WOOD. 2010. Libro Rojo de las Plantas de los Cerrados del Oriente Boliviano. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado – Darwin Initiative, Santa Cruz.

- MAMANI, F.; P. POZO; D. SOTO; D. VILLARROEL & J.R.I. WOOD. 2011. Guía Darwin de las plantas de los Cerrado de la Chiquitanía. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado – Darwin Initiative, Santa Cruz.
- MENDONÇA, R.C.; J.M. FELFILI; B.M.T. WALTER; M.C. SILVA JR.; A.V. REZENDE; T.D.S. FILGUEIRAS; P.E. NOGUEIRA & C.W. FAGG. 2008. Flora vascular do Bioma Cerrado: Checklist com 12.356 espécies. Volumen II, *en*: Cerrado: Ecología e Flora (S.M. SANO; S.P. ALMEIDA & J.F. RIBEIRO. eds). Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.
- MORENO, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis. Vol. 1. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- MOSTACEDO, B. 1995. Estudio de la composición florística, estructura y algunas potencialidades del Cerrado en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Santa Cruz-Bolivia. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz.
- MOSTACEDO, B. & T. FREDERICKSEN. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz.
- MOSTACEDO, B.; M. TOLEDO & T. FREDERICKSEN. 2001. Vegetación de las Lajas en la región de Lomerío, Santa Cruz, Bolivia. *Acta Amazónica* 31(1):11-25.
- MOSTACEDO, B.; Z. VILLEGAS; J.C. LICONA; A. ALARCÓN; D. VILLARROEL; M. PEÑA-CLAROS & T.S. FREDERICKSEN. 2009. Ecología y Silvicultura de los Principales Bosques Tropicales de Bolivia. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz.
- MYERS, N.; R. MITTERMEIER; C.G. MITTERMEIER; G.A.B. DA FONSECA & J. KENT. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- NAVARRO, G. 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Simón I. Patiño, Santa Cruz.
- PALMER, M.W. 1990. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology* 71:1195-1198.
- PEREIRA, M.I.; F. NATHÁLIA; A.P. DÍAZ; M.L. ROMARCO; E.L. MENDONÇA & D. KARAM. 2013. Estrutura fitossociológica de uma área de Cerrado *sensu stricto* em Sete Lagoas, MG. *Enciclopédia Biosfera* 9(17): 3433-3446
- PINTO-LEDEZMA, J.N. & D. VILLARROEL. 2016. Historia Natural del Cerro Mutún: I. Síntesis Geográfica, Geofísica, Climática y Socioeconómica. *Kempffiana* 12(2): 29-38.
- RIBERA, M.O. 2008. Hierro y Pantanal: Los riesgos de la explotación del Cerro Mutún. Lidema, La Paz.

- RIBEIRO, J.F. & B.M.T. WALTER. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 150-211, *en*: Cerrado: Ecologia e Flora (S.M. SANO; S.P. ALMEIDA & J.F. RIBEIRO. eds). Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.
- SOLÓRZANO, A. 2011. Análise Fitogeográfica do cerradão: conexões florísticas, padrões estruturais, relações ecológicas e modelagem de sua distribuição potencial. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- TAKAHASI, A. 2010. Ecologia da vegetação em bancada lateríticas em Corumbá, MS. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TANNUS, L.S.J. & M.A. ASSIS. 2004. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itrapina – SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 27(3):489-506.
- TOOPA, R. 2004. Estrutura e diversidade florística das diferentes fisionomias e suas correlações com o solo na estação ecológica de Jataí, Luiz Antonio SP. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- USLAR, Y.; B. MOSTACEDO & M. SALDÍAS. 2004. Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semidecíduo en Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39(1):25-43.
- VIDES-ALMONACID, R.; S. REICHLE & F. PADILLA. 2007. Planificación ecorregional del Bosque Seco Chiquitano. FCBC-TNC, Santa Cruz.
- VILLARROEL, D.; J.N. PINTO; T. CENTURIÓN & A. PARADA. 2009. Relación de la cobertura leñosa con la riqueza herbácea en tres fisionomías del Cerrado *sensu lato* (Cerro Mutún, Santa Cruz, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 44(2):88-98.
- VILLARROEL, D.; J.C. CATARI; D. CALDERÓN; R. MÉNDEZ & T. FELDPAUSCH. 2010. Estructura, composición y diversidad arbórea de dos áreas de Cerrado *sensu stricto* de la Chiquitanía (Santa Cruz, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 45(2):116-130.
- VILLARROEL, D. 2011. Aportes ao conhecimento da flora e diversidade do bioma Cerrado do Brasil e da Bolívia. Tese de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- VILLARROEL, D.; C.B.R. MUNHOZ & C.E.B. PROENÇA. 2016. Campos y sabanas del Cerrado en Bolivia: Delimitación, síntesis terminológica y sus características fisionómicas. *Kempffiana* 12(1):47-80.
- WALTER, B. M. T. 2006. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ANEXOS

ANEXO 1. Datos generales de las parcelas temporales de muestreo evaluadas en las distintas comunidades vegetales del Cerro Mutún.

ID	Plot	Código	LAT	LONG	Altitud (m)	Posición Topográfica
1	1	BCh	-19 154 944	-57 884 806	180	Falda del cerro
2	2		-19 155 556	-57 541 389	220	Falda del cerro
3	3		-19 178 889	-57 412 778	170	Falda del cerro
4	1	BChE	-19 170 694	-57 897 500	170	Valles de la falda del Cerro
5	2		-19 224 444	-57 920 833	155	Valles de la falda del Cerro
6	3		-19 225 000	-57 919 167	200	Valles de la ladera del Cerro
7	4		-19 212 222	-57 922 778	350	Valles de la ladera del Cerro
8	5		-19 175 278	-57 903 611	170	Valles de la falda del Cerro
9	1		-19 206 083	-57 906 944	540	Ladera
10	2		-19 203 333	-57 904 889	600	Ladera
11	3	CSS	-19 194 028	-57 194 722	620	Cima
12	4		-19 187 944	-57 898 556	640	Cima
13	5		-19 183 889	-57 894 361	500	Cima
14	1		-19 195 431	-57 871 361	755	Cima
15	2	CS	-19 196 634	-57 875 487	730	Cima
16	3		-19 189 083	-57 879 056	735	Cima
17	4		-19 190 000	-57 881 111	745	Cima
18	5		-19 185 278	-57 878 667	690	Cima
19	1		-19 206 667	-57 911 861	490	Ladera
20	2	Ce	-19 207 222	-57 914 361	450	Ladera
21	3		-19 204 389	-57 918 028	390	Ladera
22	4		-19 203 222	-57 914 722	430	Ladera
23	1		VS	-19 213 450	-57 919 960	320
24	2	-19 214 030		-57 900 470	300	Falda del Cerro
25	3	-19 213 333		-57 921 944	280	Falda del Cerro
26	4	-19 213 290		-57 921 220	295	Falda del Cerro

BCh= bosque semideciduo Chiquitano, BChE= bosque Chiquitano edafohidrófilo, CSS= cerrado *sensu stricto*, CS= campo sujo, Ce= cerradão, VS= vegetación saxícola.