

ANEXO A. PLANILLAS DE CAMPO

Vegetación	Tipo fisonómico		Bosque Arbustal (altura promedio del estrato superior) Sabana* Campo o pichanal Pastizal Humedal	BS AR SB CM PS HL
	Estructura de la biomasa	Horizontal	Cerrado (copas del estrato más alto se tocan y forman una masa continua). Medio (se tocan las copas pero se generan claros (? 50% del dosel). Abierto (no se tocan o los claros son ? 50%)	C M A
		Vertical (Bosque)	Alto (más de 8 metros) Medio (entre 5 y 8 metros) Bajo (metros de 5 metros)	A M B
	Especie dominante		Quebracho colorado, <i>Schinopsis balansae</i> Quebracho blanco, <i>Aspidosperma quebracho blanco</i> Quebracho blanco lagunero, <i>Aspidosperma polyneurom</i> Algarrobo blanco, <i>Prosopis alba</i> Algarrobo negro, <i>Prosopis nigra</i> Vinal, <i>Prosopis ruscifolia</i> Palosanto, <i>Bulnesia sarmientoi</i> Palo borracho, <i>Chorisia speciosa</i> Palo bobo, <i>Tessaria integrifolia</i> Guayacán, <i>Caesalpinia paraguariensis</i> Lapacho rosado, <i>Tabebuia avellaneda</i> Mistol, <i>Ziziphus mistol</i> Duraznillo, <i>Ruprechtia triflora</i> Pichana, <i>Cassia afila</i> Suncho, <i>Baccharis</i>	QC QB QBL AB AN VL PS PO PB GY LR MS DZ PI SC
Cuerpos de agua	Río de aguas blancas		Mucho sedimento	RB
	Río de aguas negras		Sin sedimentos	RN
	Lagunas con vegetación		Con juncos, etc pero que sea observables el agua	LV
	Lagunas de aguas limpias		Aguas limpias	LG
Otros	Peladares		Entre 40 % y 70 % de suelo desnudo	PL1
			Más de 70 % de suelo desnudo	PL2
			100 % de suelo desnudo	PL3

Tabla I. Planilla desarrollada a priori para la clasificación de la vegetación en el campo por la composición florística y el ordenamiento horizontal y vertical de la misma en los diferentes estratos. * la distancia árbol-árbol es superior a 5 veces el tamaño de la copa.

Clase de cobertura (información)										
id	Tipo fisonómico	Estrato superior			Estrato inferior			Observaciones	id	Fotónº
		Estructura de la biomasa		Especie dominante	Estructura de la biomasa		Especie dominante			
		Horizontal	Vertical		Horizontal	Vertical				

Tabla II. Planilla utilizada para describir la vegetación en el campo.

ANEXO B. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos en el cuerpo del estudio se siguió la siguiente metodología:

? Objetivo 1: Caracterización de la cobertura del suelo

Se analizó la concordancia entre características estructurales y florísticas de la vegetación mediante la aplicación de la técnica de correlación no paramétrica de Spearman (Altman, 1991), utilizando los datos colectados en el campo. Este tipo de análisis permitiría conocer la relación -en sentido y fuerza- entre la estructura de la vegetación y las especies dominantes (Tabla I).

		Spearman R	t(N-2)	p-level
AA & MS		-0.04	-0.59	0.56
AA & PB		-0.05	-0.66	0.51
AA & PS		-0.06	-0.81	0.42
AA & QB		0.18	2.43	0.02
AA & QC		-0.04	-0.50	0.62
AA & ALG		-0.07	-0.95	0.35
AA & QB_QC		0.11	1.52	0.13
AA & PS_QB_QC		-0.07	-1.00	0.32
AB & MS		-0.04	-0.52	0.61
AB & PB		-0.04	-0.58	0.56
AB & PS		0.03	0.35	0.72
AB & QB		0.07	0.92	0.36
AB & QC		0.06	0.76	0.45
AB & ALG		0.14	1.89	0.06
AB & QB_QC		-0.07	-0.94	0.35
AB & PS_QB_QC		-0.08	-1.11	0.27
AM & MS		-0.06	-0.79	0.43
AM & PB		-0.07	-0.89	0.37
AM & PS		-0.12	-1.55	0.12
AM & QB		-0.02	-0.30	0.76
AM & QC		0.22	3.07	0.00
AM & ALG		0.05	0.63	0.53
AM & QB_QC		-0.07	-1.00	0.32
AM & PS_QB_QC		0.03	0.44	0.66
CA & MS		-0.06	-0.85	0.40
CA & PB		0.21	2.90	0.00
CA & PS		-0.13	-1.74	0.08
CA & QB		-0.14	-1.89	0.06
CA & QC		-0.05	-0.67	0.50
CA & ALG		0.03	0.44	0.66
CA & QB_QC		0.33	4.71	0.00
CA & PS_QB_QC		-0.13	-1.80	0.07
CB & MS		0.34	4.87	0.00
CB & PB		-0.02	-0.24	0.81
CB & PS		-0.04	-0.58	0.56
CB & QB		0.14	1.90	0.06
CB & QC		-0.04	-0.50	0.62
CB & ALG		-0.03	-0.34	0.73
CB & QB_QC		-0.05	-0.71	0.48
CB & PS_QB_QC		-0.08	-1.01	0.32
CM & MS		-0.02	-0.26	0.79
CM & PB		0.24	3.32	0.00
CM & PS		-0.05	-0.72	0.47
CM & QB		0.10	1.35	0.18
CM & QC		-0.05	-0.62	0.54
CM & ALG		0.16	2.13	0.03
CM & QB_QC		-0.07	-0.87	0.38
CM & PS_QB_QC		-0.09	-1.24	0.22
MA & MS		-0.02	-0.20	0.84
MA & PB		-0.11	-1.47	0.14
MA & PS		-0.23	-3.18	0.00
MA & QB		0.07	0.91	0.37
MA & QC		0.04	0.56	0.58
MA & ALG		-0.10	-1.40	0.16
MA & QB_QC		-0.02	-0.27	0.79
MA & PS_QB_QC		0.21	2.91	0.00
MB & MS		0.15	2.02	0.04
MB & PB		-0.04	-0.49	0.63
MB & PS		0.37	5.32	0.00
MB & QB		-0.07	-0.96	0.34
MB & QC		-0.08	-1.02	0.31
MB & ALG		-0.05	-0.70	0.48
MB & QB_QC		-0.11	-1.45	0.15
MB & PS_QB_QC		-0.10	-1.29	0.20
MM & MS		0.02	0.22	0.83
MM & PB		0.00	-0.04	0.97
MM & PS		0.34	4.77	0.00
MM & QB		-0.12	-1.67	0.10
MM & QC		-0.14	-1.84	0.07
MM & ALG		0.00	-0.05	0.96
MM & QB_QC		-0.15	-2.06	0.04
MM & PS_QB_QC		0.05	0.62	0.53

Tabla I. Coeficientes de correlación de Spearman. En verde se resaltan las correlaciones con un nivel de significancia de $p < 0.001$ y en amarillo de $p < 0.05$. Descripción de las siglas referentes a la estructura de la vegetación (primera letra, apertura del dosel, segunda letra altura de la vegetación dominante); AA: abierto y alto, AB: abierto y bajo, AM: abierto y medio, CA: cerrado y alto, CB: cerrado y bajo, CM: cerrado y medio, MA: medio y alto, MB: medio y bajo, MM: medio y medio. Descripción de las siglas referentes a la flora; QB: quebracho blanco, QC: quebracho colorado, ALG: algarrobo, PS: palo santo, MS: mistol.

Los resultados de este análisis muestran que, salvo en algunos casos particulares, no existe una clara asociación entre un tipo estructural con uno de vegetación. Por ejemplo, las comunidades de quebrachales de dos quebrachos y palosanto difieren en sus resultados de las comunidades de quebrachales de quebracho blanco. Como resultado de estos análisis se definió trabajar con dos tipos de análisis complementarios para discriminar la heterogeneidad de la vegetación; el primero fue la generación de un mapa fisonómico de la vegetación, basado principalmente en la estructura de la misma, y el segundo un mapa de probabilidad de pertenecer a un tipo florístico. A continuación se describen estos análisis.

Procesamiento de las imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes provenientes del sensor ETM+ a bordo del satélite Landsat 7. Las imágenes que este satélite provee están conformadas por ocho bandas; cada una de ellas capta la intensidad de la energía reflejada o emitida por los objetos de la superficie en diferentes porciones del espectro electromagnético (Tabla II). Éstas poseen una resolución espacial que varía, según la banda, de 15 a 60 metros y una resolución temporal de 16 días. Para poder cubrir la totalidad del área de estudio se necesitaron dos escenas Landsat (229/76 y 230/latitud central -22.54° S).

<i>Banda</i>	<i>Longitud de onda (?m)</i>	<i>Resolución espacial (m)</i>
1	0.45-0.52 (azul)	30
2	0.52-0.60 (verde)	30
3	0.63-0.69 (rojo)	30
4	0.75-0.90 (infrarrojo cercano)	30
5	1.55-1.75 (infrarrojo medio)	30
6 (H y L)	10.4-12.5 (infrarrojo térmico)	60
7	2.09-2.35 (infrarrojo medio)	30
8	0.52-0.90 (pancromática)	15

Tabla II. Características espectrales y espaciales de las imágenes Landsat 7 ETM+.

La incorporación al análisis de diferentes momentos del ciclo de crecimiento de la vegetación de la región aporta una base sólida para discriminar los tipos de presentes, razón por la cual se emplearon 10 imágenes de 5 momentos claves del ciclo de crecimiento, cubriendo la totalidad de la zona en estudio. Estas imágenes fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) (Tabla III).

Orbita	Punto	Fecha
229	76	15-jul-02
229	76	17-sep-02
229	76	20-nov-02
229	76	24-feb-03
229	76	13-abr-03
230	Lat. Cent, -22.54?S	20-jun-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	24-sep-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	27-nov-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	30-ene-03
230	Lat. Cent, -22.54?S	15-feb-03
230	Lat. Cent, -22.54?S	20-abr-03

Tabla III. Orbita, punto y fechas de las imágenes Landsat 7 ETM+ utilizadas para caracterizar la estructura de la vegetación.

El primer paso en el tratamiento de las imágenes consistió en corregir geométricamente y radiométricamente cada una de ellas. La corrección geométrica se realizó mediante el uso de puntos de control de tierra (colectados durante el viaje a campo) colocados sobre la imagen de referencia. La corrección radiométrica se realizó mediante el cálculo de los valores de reflectancia para cada una de las bandas. No se realizaron correcciones de tipo atmosférico debido a la falta de información necesaria para realizar este tipo de correcciones. El siguiente paso fue el cálculo de parámetros funcionales (Índice Verde Normalizado, albedo y temperatura) de la vegetación para las 5 fechas utilizadas. El IVN es calculado como:

$$IVN = (IRC - R)/(IRC + R),$$

donde IRC es el infrarrojo cercano (banda 4 de Landsat ETM+) y R es el rojo (banda 3 de Landsat ETM+). Lloyd (1990) mostró que series temporales de IVN permiten caracterizar la fenología de la vegetación. El albedo de onda corta es calculado como:

$$\text{albedo} = 0.356 B1 + 0.130 B3 + 0.373 B4 + 0.085 B5 + 0.072 B7 - 0.0018,$$

donde B es la banda del sensor (Liang, 2000). Las imágenes de temperatura fueron calculadas a través de las imágenes de radiancia de la banda 6 *High gain* del sensor ETM+. El empleo de series temporales de IVN en numerosos estudios ha demostrado buenos niveles de precisión de las clasificaciones generadas (por ejemplo, Guerschman *et al.*, 2003). Posteriormente se modificaron las imágenes mediante la aplicación de un filtro de medias, con una ventana de 3 x 3 píxeles (Hill 1999, Tottrup 2004) para detectar tipos homogéneos de vegetación. Este tipo de filtros espectrales es frecuentemente empleado para discriminar tipos de vegetación en áreas boscosas.

Clasificación basada en la estructura de la vegetación

Con las series temporales de IVN, albedo y temperatura se realizaron clasificaciones no supervisadas mediante el algoritmo “K-means” (20 clases, 80 iteraciones, 0.5 de umbral). A partir de esta primera clasificación se discriminaron por sus características funcionales 4 clases principales: 1) bosques higrófilos, 2) peladares, 3) otros bosques, y 4) cuerpos de agua. Las primeras dos clases

principales y los cuerpos de agua se mantuvieron en la clasificación final debido a la homogeneidad interna de las distintas clases que las componían. Sin embargo, en esta primera clasificación existían numerosas clases con características funcionales o espectrales muy diversas y diferentes a las de los bosques higrófilos, peladares o cuerpos de agua, por lo que se decidió agruparlos en una única clase (“otros bosques”) y darle a ésta un tratamiento especial para poder discriminar unidades de mayor detalle.

Para discriminar las unidades menores dentro de la clase “otros bosques”, se realizó en primer término una nueva clasificación no supervisada (sólo sobre la clase “otros bosques”) con 200 clases espectrales mediante el algoritmo “K-Means” (80 iteraciones, 0.5 de umbral). Se calculó luego la media de la reflectancia de cada banda empleada para cada una de estas 200 clases. Aquí no se utilizaron los parámetros IVN, albedo ni temperatura, sino que se emplearon las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de las imágenes de septiembre y febrero para explorar otras características espectrales que ayudaran a discriminar unidades de vegetación. Tibshirani *et al.* (2001) indican que para calcular el número óptimo de clases naturales es necesario minimizar la varianza dentro de los grupos en relación a la varianza entre grupos. Esto se puede visualizar mediante un gráfico de la diferencia entre la dispersión dentro de las clases (W_k) en relación al número de clases empleadas (k): W_k decrece monótonicamente a medida que aumenta en k , pero existe un punto en donde la pendiente cambia marcadamente. Este punto de inflexión sería en donde existen clases naturales. Como resultado se encontró que existirían 8 clases “naturales” separables por sus características espectrales. Se analizaron estas clases por sus características espectrales, estructurales y de forma complementaria por sus características florísticas, en función de la información colectada en el campo, y se agruparon en 3 únicas clases de bosque (Bosque Caducifolio Ralo, Bosque Caducifolio Intermedio y Bosque Caducifolio Denso) (tabla IV). Así junto con las tres clases que se habían determinado en el primer análisis, se obtuvieron un total de 6 clases que se presentan en la clasificación final:

1. Cuerpos de Agua,
2. Peladares,
3. Bosque Caducifolio Ralo,
4. Bosque Caducifolio Intermedio,
5. Bosque Caducifolio Denso,
6. Bosque Caducifolio Higrófilo.

Cada una de estas clases tiene asociadas características, funcionales, estructurales y florísticas.

por estructura	Clase (px)	Abierto			Total	cerrado			Total	medio			Total	Total
		alto	bajo	medio	abierto	alto	bajo	medio	cerrado	alto	bajo	medio	medio	general
	Clase 5	28	25	27	80	31	2	2	35	73	11	28	112	227
Clase 4	5	18	10	33	1	6	0	7	9	6	15	30	70	
Clase 3	3	22	5	30	0	1	1	2	5	2	2	9	41	
Total general	36	65	42	143	32	9	3	44	87	19	45	151	338	

por estructura	Clase (%)	Abierto			Total	cerrado			Total	medio			Total
		alto	bajo	medio	abierto	alto	bajo	medio	cerrado	alto	bajo	medio	medio
	Clase 5	35.0	31.3	33.8	100.0	88.6	5.7	5.7	100.0	65.2	9.8	25.0	100.0
Clase 4	15.2	54.5	30.3	100.0	14.3	85.7	0.0	100.0	30.0	20.0	50.0	100.0	
Clase 3	34.5	225.4	40.2	100.0	0.0	50.0	50.0	100.0	55.6	22.2	22.2	100.0	
Total general	25.2	45.5	29.4	100.0	72.7	20.5	6.8	100.0	57.6	12.6	29.8	100.0	

por composición florística	Clase (px)	alg	ms	Ps	ps, qb, qc	qb	qc	qc, qb	Total general
	Clase 5	18	5	26	60	15	15	60	199
	Clase 4	11	17	10	12	3	4	2	59
	Clase 3	6	10	5	4	1	3	4	33
	Total general	35	32	41	76	19	22	66	291

por composición florística	Clase (%)	alg	ms	Ps	Ps, qb, qc	qb	qc	qc, qb	Total general
	Clase 5	9.0	2.5	13.1	30.2	7.5	7.5	30.2	100
	Clase 4	18.6	28.8	16.9	20.3	5.1	6.8	3.4	100
	Clase 3	37.0	95.1	62.7	27.9	4.5	34.1	38.6	100
	Total general	12.0	11.0	14.1	26.1	6.5	7.6	22.7	100

Tabla IV. Matrices utilizadas para la clasificación de "otros bosques". Referencias: Clase 5: Bosque denso; Clase 4: Bosque intermedio; Clase 3: Bosque ralo.

Mapa de probabilidades florísticas

Un segundo análisis, complementario al anterior, se realizó para discriminar exclusivamente la vegetación por sus tipos florísticos. Con las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de las imágenes de septiembre y febrero se realizó una clasificación supervisada mediante el algoritmo de "Máxima Verosimilitud". El primer paso para llevar a cabo una clasificación supervisada es el desarrollo de un esquema conceptual de clasificación. Éste se define como el conjunto de clases o categorías de interés para ser identificadas y discriminadas. Dichas categorías son llamadas por Jensen (1996) "clases de información". Las clases de información fueron tres: 1) quebrachales de dos quebrachos (*Schinopsis balansae* y *Aspidosperma quebracho-blanco*), 2) algarrobales (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*), y 3) palosantales (*Bulnesia sarmientoi*). El llamado "entrenamiento" fue llevado a cabo mediante la simplificación de la información florística recolectada en el área (ver Anexo B). Sin embargo, el mapa presentado en la Figura 3 del cuerpo del informe no fue el resultado final del proceso de clasificación supervisada, sino que fue un resultado intermedio, un mapa de probabilidades de pertenecer cada píxel

a cada una de las clases determinadas en el esquema conceptual de clasificación. Este mapa, considerado como una clasificación “blanda” o “difusa” (Gallego, 2004), posee la ventaja de representar una situación más acorde con la realidad en comparación con mapas donde las clases de información son, por ejemplo, quebrachales, palosantales u otros, ya que la vegetación de la región rara vez se presenta en forma de comunidades monoespecíficas. Así, las combinaciones (comunidades) de estos tipos florísticos simplificados surgen en el mismo mapa por combinaciones de las probabilidades de pertenecer a cada una de las clases.

Evaluación de la precisión de la clasificación basada en la estructura de la vegetación

La evaluación de la clasificación fisonómica constó de dos partes, la primera por sus características estructurales y la segunda (complementaria) por sus características florísticas.

Por su disposición en el espacio:

Se generó una matriz cuadrada definida por la organización de la vegetación en cuanto a la apertura del dosel (organización horizontal) y en cuanto a la altura del tipo fisonómico dominante (organización vertical). *A priori* se asignaron cada una de las 5 clases de vegetación a una combinación de estas dos características de la vegetación (Tabla V). Para aproximadamente 300 de los 600 puntos de control terrestre esta información se encontraba disponible (ver Anexo B). Así se analizó la proporción de puntos correctamente clasificados bajo este criterio.

		Organización horizontal		
		Abierto	Medio	Cerrado
Organización vertical	Alto	5	4, 5	5, 6
	Medio	3, 4	3, 4, 5	4, 5, 6
	Bajo	2, 3	3, 4	3

Tabla V. Asignación de cada clase según diferente disposición de estructura vertical y horizontal. Referencias: 2 peladares, 3 bosque caducifolio ralo, 4 bosque caducifolio intermedio, 5 bosque caducifolio denso, 6 bosque caducifolio higrófilo. Para ejemplificar esta evaluación, la clase 2 (peladares) cumple siempre con una estructura de vegetación baja y abierta, mientras que la clase 6 (Bosque higrófilo) puede ser de altura media o alta y pero siempre cerrada en su organización horizontal.

Por su composición florística:

Asimismo, para la clasificación basada en la estructura de la vegetación, se asignaron *a priori* distintos tipos florísticos a cada una de las 5 clases de vegetación definida (Tabla VI). Para aproximadamente 200 de los 600 puntos de control terrestre esta información se encontraba disponible (ver Anexo B). Así se analizó la proporción de puntos correctamente clasificados bajo este criterio.

Mistol	3	4		
Algarrobo	2	3	6	
Duraznillo	2	3		
Palo Santo	2	3	4	5
Quebracho	4	5		
Bobadal	6			
Brea	2	3	4	

Tabla VI. Asignación de cada clase según la composición florística de las principales especies. Referencias: 2 peladares, 3 bosque caducifolio ralo, 4 bosque caducifolio intermedio, 5 bosque caducifolio denso, 6 bosque caducifolio higrófilo.

Vale destacar que la clase 5 (Bosque caducifolio denso) por ejemplo, está dominado por palo santo y quebrachos, mientras que en la clase 2 (peladares) tiene más variabilidad florística (algarrobo, duraznillo, palo santo y brea).

A continuación se presentan los resultados de ambas aproximaciones para evaluar el mapa fisonómico estructural de la vegetación (Tabla VII) (Figura 2, cuerpo del informe).

Clasificación por características florísticas	
Precisión general	88.94
clase 1 - Cuerpos de agua	-
clase 2 – Peladares	33.33
clase 3 - Bosque Caducifolio Ralo	35.71
clase 4 - Bosque Caducifolio Intermedio	91.89
clase 5 - Bosque Caducifolio Denso	94.78
clase 6 - Bosque Caducifolio Higrófilo	90.91

Clasificación por características estructurales	
Precisión general	66.59
clase 1 - Cuerpos de agua	-
clase 2 - Peladares	69.70
clase 3 - Bosque Caducifolio Ralo	74.55
clase 4 - Bosque Caducifolio Intermedio	60.24
clase 5 - Bosque Caducifolio Denso	71.49
clase 6 - Bosque Caducifolio Higrófilo	30.30

Tabla VII. Análisis de la precisión de las clasificaciones.

Los resultados muestran una precisión aceptable desde el análisis estructural y una buena desde el punto florístico. Si bien los valores particulares son bajos para tipos particulares, esto se debería a la complejidad existente entre clases similares en estructura y comportamiento espectral. Por ejemplo, la precisión del 30.3 % para la clase 6 en relación a la estructura se debe a que muchos puntos con características estructurales que pertenecerían a la clase 5 se clasificaron como bosques higrófilos.

Elaboración de los mapas de cuerpos de agua

Para elaborar los mapas de cuerpos de agua se eligió trabajar con la banda pancromática por su alta resolución espacial (15 m), en combinación con las bandas 3, 4 y 5 (30 m) para las fechas de verano. El uso de la banda 5 se debe a que el agua posee siempre valores bajos de reflectancia para el infrarrojo medio. Con las bandas 3 y 4 se calculó el IVN; al estar asociado este índice espectral en mayor medida con relaciones biofísicas del canopeo (Tucker y Sellers, 1986) los valores para los cuerpos de agua deben ser sumamente bajos. Se realizaron clasificaciones no paramétricas del tipo de árboles de decisión (Brown de Colstoun, 2003). Una clasificación no paramétrica no hace ninguna asunción acerca de la normalidad de la distribución de frecuencias de los datos de entrada. El árbol de decisión elegido en este trabajo fue el siguiente:

- a) se descartaron aquellos píxeles con un valor medio o alto de reflectancia en el IRM (infrarrojo medio, banda 5).
- b) se realizó una fotointerpretación de las imágenes y se descartaron las áreas con nubes.
- c) Se descartaron como cuerpos de agua aquellos píxeles con un valor medio o alto de IVN (bandas 3 y 4).

En el conjunto de píxeles restante se diferenciaron por sus valores en el IVN, banda 5 y la posición en el terreno (proximidad al Río Pilcomayo) tres clases de cuerpos de agua: las aguas “blancas” (con material en suspensión), las aguas “negras” (con poco sedimento), y humedales (áreas con o sin vegetación con períodos de inundación variables). Vale destacar que no se pudo hacer una evaluación de la precisión de esta clasificación debido a la escasez de cuerpos de agua en la región y a la inaccesibilidad de los mismos.

? Objetivo 2: Caracterización del funcionamiento de la vegetación

Procesamiento de las imágenes satelitales

Para la caracterización del funcionamiento de la vegetación se utilizó información provista por los satélites MODIS-TERRA con resolución espacial de 250 y 1000 metros, para la serie temporal 2000-2004, y NOAA/AVHRR con resolución espacial de 8 km, para la serie temporal 1980-2000. Las imágenes MODIS utilizadas en este trabajo se obtuvieron en los sitios:

-ftp://e0dps01u.ecs.nasa.gov/MOLT/ y

-http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/

Las imágenes NOAA/AVHRR utilizadas en este trabajo se obtuvieron en el sitio: ftp://daac.gsfc.nasa.gov/data/avhrr/).

Índice de productividad

Para el cálculo del Índice de productividad y sus derivados se aplicó sobre imágenes MODIS TERRA la ecuación de Monteith (1977). Se trata de un modelo simple en donde el Índice de productividad, es una función lineal de la integral anual de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR). APAR es

convertido en materia seca de carbono utilizando el coeficiente de conversión de energía (?).

$$\text{Índice de Productividad} = \text{PPN} / \text{PPN}_{\text{max}}$$

$$\text{PPN} = \epsilon \times [\epsilon \text{ APAR}] \quad \text{y} \quad \text{APAR} = \text{FPAR} \times \text{PAR}$$

siendo PAR la radiación fotosintéticamente activa, FPAR la fracción del PAR interceptada por la vegetación verde y ϵ la eficiencia de conversión de energía, que presenta una variación estacional y anual. La información de la radiación fotosintéticamente activa fue obtenida de los “Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe” (FAO, 1985). Se utilizó un único valor mensual para cada uno de los años, que corresponde a la radiación al tope de la atmósfera para la estación meteorológica de Rivadavia (24° 10´S, 62° 54´O). La información de la eficiencia de conversión de energía fue extraída del trabajo de Field *et al.* (1995) y Dorman y Sellers (1989). FPAR es estimada por medio de la reflectancia de la superficie y características fisonómicas de la vegetación (ver trabajo de Myneni *et al.*, 2002). En este estudio se prefirió utilizar el producto MOD15A2 MODIS (FPAR, <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod15a2.asp>), con una resolución espacial de aproximadamente 1000 metros y una resolución temporal diaria.

Para analizar el comportamiento de la productividad del sistema en el período 1980-2000, se decidió emplear la serie temporal de IVN de las imágenes NOAA/AVHRR, con una resolución espacial de 8000 metros y una resolución temporal diaria. Los resultados se resumieron por las medias mensuales del período de estudio. Es necesario destacar que debido a la pequeña resolución espacial de estas imágenes se decidió evaluar el comportamiento de esta variable sólo para aquellos píxeles de 8000 metros que contenían una alta proporción de la clase en cuestión. Con tal fin se intersectó una grilla de cuadrados de 8000 metros de lado con el mapa fisonómico de la vegetación y se analizó luego la proporción de cada una de las clases dentro de cada unidad de grilla. Debido a la heterogeneidad de la configuración de los tipos de vegetación en la región, los resultados que se presentan en las Figuras XX a XXX del cuerpo del informe se realizaron con píxeles NOAA con diferente porcentaje para cada uno de las clases (Tabla VIII).

<i>Clase</i>	<i>Porcentaje</i>
clase 1	15.15
clase 2	35.11
clase 3	36.66
clase 4	49.66
clase 5	99.88
clase 6	62.18

Tabla VIII. Porcentaje de la superficie ocupada por la clase en cuestión en el píxel elegido para representar el comportamiento de la clase en el período 1980-2000.

Tendencia del Índice Verde Normalizado

Para estudiar el impacto del uso de la tierra sobre el funcionamiento de la región en el período 1980-2000 (648 imágenes NOAA/AVHRR) se analizaron los cambios temporales en las integrales anuales del IVN (IVN-I) mediante modelos de regresión lineal simple para cada uno de los píxeles que comprende la región. Las regresiones lineales se realizaron mediante la generación de modelos en lenguaje BASIC escritos específicamente para este análisis. La información de la tendencia temporal fue resumida utilizando la pendiente de aquellos píxeles para los cuales la regresión fue estadísticamente significativa (Figura I).

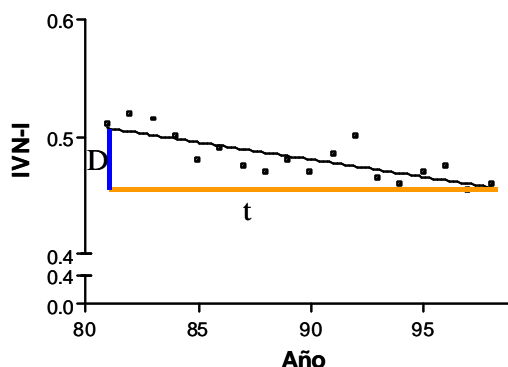


Figura 1. Diagrama de la relación entre el IVN-I a lo largo del tiempo. La relación D/t muestra el cambio operado en el IVN-I en un determinado píxel a lo largo del período de 20 años (extraído de Garbulsky et al., 2003).

Índice de Consumo de agua

Para el cálculo del Índice de Consumo de agua y sus derivados se utilizaron los modelos de Garbulsky y Paruelo (2004).

$$\begin{aligned} \text{Índice de Consumo de agua} &= ET / ET_{\max} \\ ET &= Ts \times IVN \times 5.57 \end{aligned}$$

Donde T_s ($^{\circ}\text{C}$) es la temperatura media mensual de la superficie del suelo y IVN es el Índice Verde Normalizado. Las imágenes de Índice Verde Normalizado provienen del producto MOD13Q1 MODIS (IVN, <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1.asp>), con una resolución espacial de aproximadamente 250 metros y una resolución temporal de 16 días. La información de la temperatura media mensual, proviene del producto MODIS MOD11A2 (Temperatura superficial, <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod11a2.asp>), con una resolución espacial de aproximadamente 1000 metros y una resolución temporal de 8 días.

Este mismo modelo se aplicó a la serie temporal (1980-2000) de IVN de las imágenes NOAA/AVHRR, con una resolución espacial de 8000 metros y una resolución temporal diaria. Las imágenes de temperatura superficial (T_s) fueron calculadas a través de la banda 4 (10.3-11.3 μm) y corregidas por la emisividad de la superficie empleando el IVN y la banda 5 (11.5-12.5 μm) (Sobrino et al. 1991). Los resultados se resumieron por las medias mensuales del período de estudio.

ANEXO C. SUELOS

La descripción en forma resumida que se presenta a continuación fue extraída de FitzPatrick (1996).

Fluvisoles Éutricos: suelos desarrollados por depósitos aluviales recientes que no tienen más horizontes de diagnóstico que un horizonte A ócrico o úmbrico, un horizonte H hístico o un horizonte sulfúrico. Se caracterizan por tener una saturación de bases mayor al 50% a una profundidad de 20 a 50 centímetros de la superficie, sin ser calcáreos a esa profundidad. Para su aprovechamiento, estos suelos deben ser en su mayoría mejorados considerablemente. Para esto debe impedirse su inundación, de manera que se produzcan los procesos de maduración químicos, biológicos y físicos necesarios para que estos suelos sean utilizables productivamente.

Xerosoles

Háplicos: suelos que se desarrollan en zonas con régimen de humedad árido, que tienen un horizonte A ócrico débil y un horizonte B cámbico.

Lúvicos: iguales a los anteriores, pero con un horizonte B argílico, con la presencia de un horizonte cálcico o gypico.

La única forma de uso de los Xerosoles en condiciones naturales es el pastoreo de herbívoros domésticos, y aún este es un sistema precario debido a la incertidumbre de disponer de una provisión adecuada de agua para los animales. Un sobrepastoreo puede provocar pérdida completa de la vegetación natural, exponiendo la superficie de la tierra a la erosión hídrica y eólica. Por lo general, la fertilidad de estos suelos está limitada por la disponibilidad de agua para las plantas. Si se regaran, podrían ser excelentes suelos agrícolas. Sin embargo, las áreas donde se encuentran estos suelos están asociadas a zonas con baja disponibilidad de fuentes de agua, y las aguas subterráneas tienen generalmente elevados contenidos de sales que las hacen inapropiadas para riego.

Solonchaks Órticos: suelos con salinidad elevada y sin otros horizontes de diagnóstico que un horizonte A ócrico, sin propiedades hidromórficas dentro de los primeros centímetros de profundidad. Por lo general tienen una permeabilidad baja, que determina que la gran parte del agua se pierde por escorrentía y por evaporación. Esta clase de suelos es la que tiene probablemente la mayor dificultad para su mejoramiento. Sería necesario usar agua para remover las sales, pero como generalmente en estos suelos hay escasez de agua y/o es inapropiada para la remoción de sales, se torna muy complicada su recuperación.

Vertisoles Crómicos: suelos que tienen un 30% o más de arcilla en sus primeros 50 centímetros de profundidad, que puede formar grietas de más de 1

centímetro de ancho y hasta 50 centímetros de profundidad en épocas secas. Son suelos de color oscuro, con textura uniforme.

Regosoles Eutrícos: suelos procedentes de material no consolidado, sólo con un horizonte de diagnóstico A ócrico, carente de propiedades hidromórficas en los primeros 50 centímetros de profundidad. Tienen una saturación de bases de 50% entre los 20 y 50 centímetros de profundidad.