

Indices de Consumo de combustible diesel en función de Variables Climáticas en actividades de la agricultura cañera. Obtención de Modelos Estadísticos.

**Aramís Fonte Hernández (*),
Iomarys Pérez Abraham**

Nélida Varela Ledesma,

**(*)- Investigador Auxiliar, Centro Meteorológico de Camagüey
e-mail: aramis@met.cmw.inf.cu, Teléfonos: 261284, 261103, 261765**

Resumen

En el trabajo se investigó la posibilidad de descripción del comportamiento de Indices de Consumo de combustible en labores agrícolas, en base a variables climáticas. Para ello se realizó, en primer lugar, la confección de una base de datos mensuales, provenientes del período 1998-2001, que incluyó los valores de distintos índices de consumo de actividades específicas de la agricultura cañera, proveniente de 5 complejos agroindustriales de la provincia de Camagüey, y fueron cotejados con los de variables climáticas originales, tales como: temperaturas (máxima, mínima, media), velocidad media del viento, humedad relativa, horas luz, y precipitación, así como la variable calculada evapotranspiración, con lo que fueron conformados los distintos juegos de datos para el análisis. El procesamiento estadístico de los mismos permitió obtener modelos de tipo no-lineal, que corroboran la dependencia del comportamiento de los Indices de Consumo de Combustible Diesel, según los valores de las variables climáticas señaladas. Resulta interesante, dada la consistencia física y lógica de las expresiones obtenidas, la posibilidad de su aplicación como herramienta de análisis a la hora de acometer actividades de planificación de asignación de combustible en las mismas, así como una contribución para el análisis de eficiencias en dicho sector.

Introducción

Independientemente de las clásicas interrelaciones estudiadas y aceptadas entre el clima y diferentes sectores de la economía y la sociedad, la existencia de un fuerte y colegiado esfuerzo internacional a raíz de la creación y acción de distintas

instituciones para el estudio del cambio climático (IPCC, 1996, 2001), ha venido a ratificar la urgente necesidad de ampliar y profundizar los estudios de aplicaciones climáticas sobre un sector mucho más amplio de la actividad humana. Por otro lado, la fuerte incidencia que sobre el clima y el medio ambiente, en sentido general, tienen los procesos energéticos dentro de las actividades que generan gases de efecto Invernadero (GEI), unido a la inevitable cuestión del agotamiento de los hidrocarburos (OLADE-SIEE, 2001; DOE, 2003), han estimulado la ejecución de estudios para la adopción de adecuadas estrategias de adaptación ante tales problemas (IPCC, 1996, 2001). Entre los aspectos que han estado recibiendo mayor atención a la hora de analizar el impacto del comportamiento de las variables climáticas sobre actividades específicas del ser humano, se encuentran en primera línea, los de la Energía y la Agricultura.

Sabido es el interés de los especialistas de sectores específicos, en poseer herramientas que les permitan acercarse al menos a una estimación del comportamiento de las actividades del ramo en que se desenvuelven, para poder analizar con anticipación el desarrollo de los acontecimientos dentro de determinadas condiciones de operación o escenarios, y poder encontrar alternativas de respuesta a los problemas que posiblemente haya que afrontar.

Para esto se emplean diversos procedimientos, entre los cuales se encuentran los métodos de modelación estadística, que son ampliamente aplicados cuando no se conoce, o no se tienen a mano los pormenores de los procesos físicos en los cuales se basan o intervienen, en la acción, proceso o fenómeno que se intenta modelar.

Esta herramienta continúa teniendo vigencia en el campo de la aplicación de las ciencias meteorológicas y el clima, en trabajos que relacionan, ya sea el comportamiento de diversos portadores o fuentes de energía al clima y/o a variables climáticas, según se ha estado observando de los trabajos realizados por diferentes investigadores (Vargas, 1995; Sailor y Muñoz, 1997, 1998; Sailor et al., 2000; Breslow y Sailor, 2001), así como para el caso particular de actividades de la agricultura (Fuentes et al., 2003; Confalone et al., 2003; Alvarez et al., 2003).

Por todas estas razones, y considerando la urgente necesidad que tiene el país de realizar un análisis lo más completo posible de todos los factores que pueden tener implicación en el consumo de portadores energéticos, el presente trabajo tiene el objetivo principal de estudiar la posibilidad de uso de este método para modelar el consumo de combustible diesel aplicado a la maquinaria empleada en actividades de la agricultura cañera, tanto como herramienta operativa, como para el análisis de posibles impactos del cambio climático en el territorio, bajo las condiciones particulares de la provincia de Camagüey (territorio ubicado entre los $76^{\circ} 57'00''$ y $78^{\circ} 38'59''$ de longitud Oeste, y los $20^{\circ} 31'01''$ y $22^{\circ} 29'00''$ de latitud Norte), dada su extensión territorial y peso de su actividad agrícola cañera dentro de la economía nacional.

Materiales y Métodos

La realización del trabajo constó de dos partes fundamentales: la conformación de la correspondiente base de datos climático-energética mensual, y el procesamiento y análisis de estos para la obtención de modelos estadísticos.

Con vistas a tener una representatividad lo más completa posible, desde el punto de vista de su distribución geográfica así como la ubicación en zonas de distintos tipos de suelos, tecnología de cultivo, etc., se decidió seleccionar un total de 5 centrales azucareros para, en un estudio posterior, analizar la posible influencia de la ubicación y otros factores colaterales, que no son objeto de interés en este primer trabajo. Las variables climáticas fueron tomadas para cada entidad de acuerdo a la cercanía a cada estación meteorológica existente, y en los casos necesarios, se recurrió a la realización de interpolaciones entre datos de estaciones. Para el caso de la Precipitación se tomaron en cuenta los datos de la red pluviométrica provincial.

De manera complementaria, se tomaron datos correspondientes al total provincial conformado por los catorce Complejos Agro-Industriales (CAIs) que, en la época a la cual correspondían los datos, se encontraban funcionando en la producción de azúcar. En sentido general, la conformación de la base de datos correspondiente a la información de las entidades azucareras, confrontó repetidas dificultades

partiendo de que, por cuestiones organizativas, no se encontraron registros completos de datos en ninguna de las entidades investigadas, y por otro lado, hubo que desechar de entrada varios juegos de datos por no reunir la calidad adecuada. Esto hace que, en concreto, la frecuencia y extensión temporal de la base de datos esté regida, en primer lugar por el esquema de captación de datos vigente en el sector azucarero, y en segundo lugar, por la disponibilidad real de datos que existe en cada una de las entidades seleccionada para el estudio, por lo que en el caso de los CAIs , los datos corresponden al período 1998-2001 (4 años), pero en el caso del total provincial, el record corresponde a sólo tres años (1999-2001).

Del total de indicadores que se reportan dentro de la información estadística oficial implantada por el Ministerio de la Industria Azucarera y el Comité Estatal de Estadísticas, las actividades seleccionadas, y que representan un indicador del consumo de combustible diesel en el quehacer agrícola vinculado a la industria azucarera, se encuentran las que están agrupadas bajo las siguientes denominaciones: *Preparación de Tierras (PT)*; *Siembra (S)*; *Cultivos Totales (CT)*; *Otras Atenciones Culturales (OAC)*; *Corte mecanizado (CM)*; *Acondicionamiento de Tierra (AT)*; *Riego (R)*; *Alza Mecanizada (AM)*; y *Tiro con Tractor (TCT)*.

Partiendo de que es necesario homogeneizar la información con el objetivo de hacer más fácilmente comparable los resultados a obtener, se procedió a obtener los denominados “Índices de Consumo de Combustible Diesel (ICD)” para cada una de estas actividades, para lo cual se siguió el siguiente patrón:

$$ICD_i = CCC/NAD \quad (1)$$

Donde:

ICD_i – índice de consumo en una actividad específica

CCC- consumo de combustible diesel (toneladas)

NAD- nivel de actividad desarrollado (sus unidades dependen del tipo de actividad específica de que se trate)

A continuación se especifican las unidades en que se expresa cada índice:

Nº	Indice	Código	Unidades
1	Preparación de tierra	PT	TCD por caballería
2	Siembra	S	TCD por caballería
3	Cultivos Totales	CT	TCD por caballería
4	Otras Atenciones Culturales	OAC	TCD por caballería
5	Acondicionamiento de Tierra	AT	TCD por caballería
6	Riego	R	TCD por caballería
7	Corte Mecanizado	CM	TCD por miles de arrobas de caña
8	Alza Mecanizada	AM	TCD por miles de arrobas de caña
9	Tiro con Tractor	TCT	TCD por miles de arrobas

Donde:

TCD- tonelada de combustible diesel

1 caballería= 13.42 hectáreas

1 arroba= 11.36 kg

El análisis del ajuste de los modelos estadísticos involucró el empleo de modelos de regresión múltiple no lineal, con la modalidad de Piecewise Linear Regression with Breakpoint, empleando como método de estimación el Quasi-Newton.

Para mayor claridad, al expresar los resultados del ajuste de los modelos, se partirá de enunciar el punto de ruptura o punto de cambio de pendiente en cada modelo (PR), y se darán los coeficientes asociados a cada una de las variables climáticas consideradas para cada caso en particular. A este fin se diferenciará bajo la denominación de ANTES, y DESPUES, a los susodichos coeficientes ubicados ya sea antes o después del punto de ruptura (PR).

Por razones de limitaciones de espacio, tan solo se expondrán las figuras y tablas correspondientes al caso del CAI Carlos M. de Céspedes, por haber resultado ser uno los que obtuvieron mayor cantidad de índices de consumo con calidad mínima adecuada en los modelos ajustados.

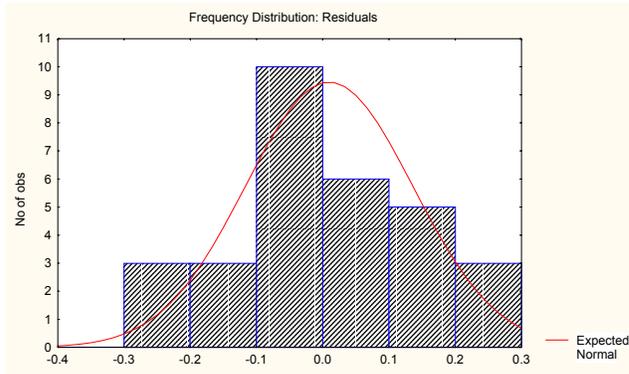
Resultados

Como fue recién enunciado, solo se representarán los resultados correspondientes al CAI Carlos M. de Céspedes por las razones expuestas así como grado de completamiento de los datos en cuanto a casos válidos.

CAI Carlos M. de Céspedes

1. Índice de Consumo de Diesel en Preparación de Tierra

Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

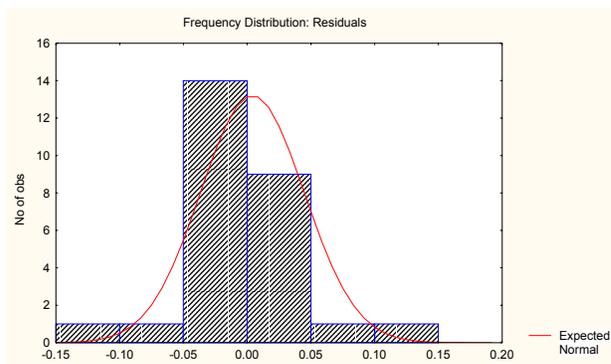


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 1.230928		
Varianza Explicada: 83.93 %		
Nro. de casos válidos= 30		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	2.281267	1.702044
Velocidad Media del Viento (km/h)	0.049301	-0.029082
Humedad Relativa (%)	-0.009196	0.002937
Horas-Luz (h)	-0.112329	-0.044454
Precipitación (mm)	0.000626	0.001652

2. Índice de Consumo de Diesel en Siembra

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

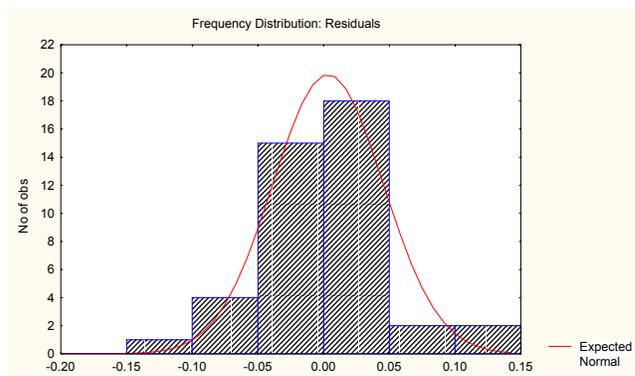


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.359682		
Varianza Explicada: 98.35 %		
Nro. de casos válidos= 27		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	1.218016	1.49681
Temperatura Media (°C)	-0.010201	-5.70046
Velocidad Media del Viento (km/h)	-0.012353	-2.2604
Humedad Relativa (%)	-0.006052	1.611862
Horas-Luz (h)	-0.0662	-2.09059
Precipitación (mm)	0.000201	-0.005895
Evapotranspiración (mm)	0.0022	0.328393

3. Índice de Consumo de Diesel en Cultivos Totales

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

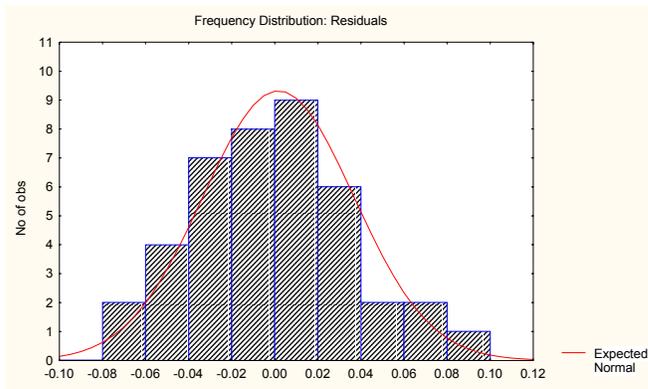


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.344762		
Varianza Explicada: 99.18 %		
Nro. de casos válidos= 42		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	-0.97762	20.30850
Temperatura Mínima (°C)	-0.006846	0.470066
Temperatura Máxima (°C)	0.084277	-0.37896
Temperatura Media (°C)	-0.059241	-0.023838
Velocidad Media del Viento (km/h)	0.008429	-0.15676
Humedad Relativa (%)	0.003702	-0.193239
Horas-Luz (h)	-0.023138	0.289036
Precipitación (mm)	-0.000153	0.003241
Evapotranspiración (mm)	-0.000407	-0.01819

4. Índice de Consumo de Diesel en Otras Atenciones Culturales

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

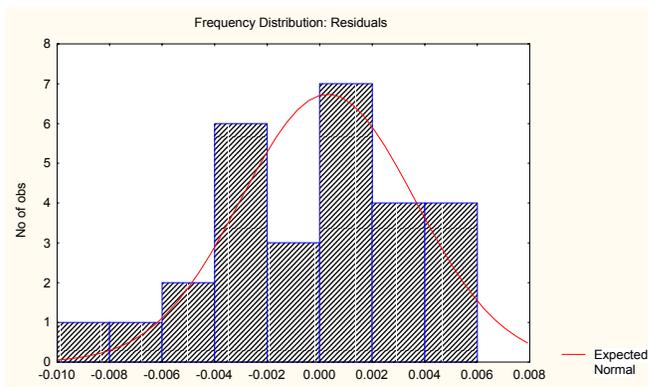


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.129779		
Varianza Explicada: 85.46 %		
Nro. de casos válidos= 41		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	0.203361	-1.02045
Temperatura Media (°C)	0.000837	-0.0022
Velocidad Media del Viento (km/h)	0.003636	-0.009846
Humedad relativa (%)	-0.002753	0.013511
Horas-Luz (h)	0.00406	0.041584
Precipitación (mm)	-0.00001	-0.000229

5. Índice de Consumo de Diesel en Corte Mecanizado

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

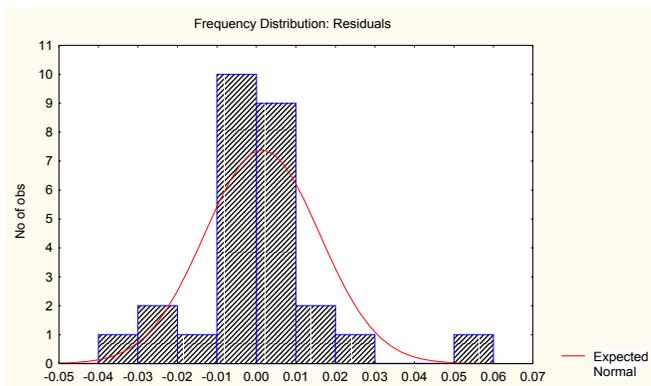


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.021368 Varianza Explicada: 87.21 % Nro. de casos válidos= 28		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	-0.0081	-0.000959
Temperatura Media (°C)	-0.000602	-0.001311
Velocidad Media del Viento (km/h)	-0.000254	-0.001688
Humedad Relativa (%)	0.000174	0.000639
Horas-Luz (h)	0.002943	0.003733

6. Índice de Consumo de Diesel en Acondicionamiento de Tierras

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

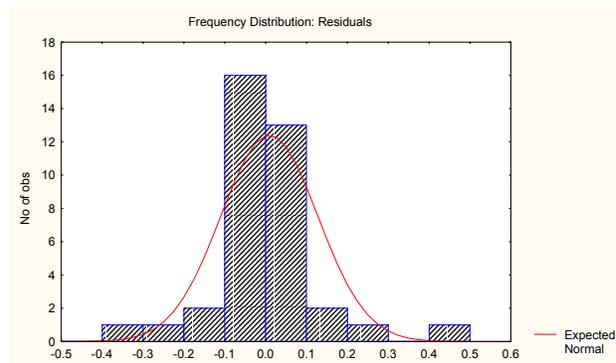


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.045056 Varianza Explicada: 75.28 % Nro. de casos válidos= 27		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	0.005596	1.781569
Temperatura Mínima (°C)	-0.011806	0.030379
Temperatura Máxima (°C)	-0.024366	-0.047377
Temperatura Media (°C)	0.036654	-0.003738
Velocidad Media del Viento (km/h)	-0.000633	-0.004259
Humedad Relativa (%)	0.000686	-0.011254
Horas-Luz (h)	0.001958	0.014511
Precipitación (mm)	-0.000032	0.000359
Evapotranspiración (mm)	0.000247	-0.000111

7. Índice de Consumo de Diesel en Riego

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal

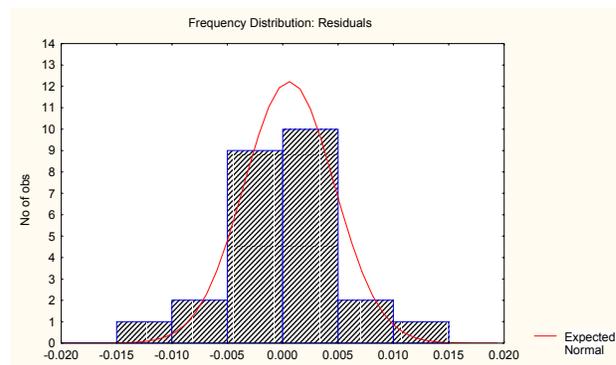


Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.319603		
Varianza Explicada: 83.39 %		
Nro. de casos válidos= 37		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	-0.16834	2.409167
Temperatura Media (°C)	-0.012528	0.037429
Velocidad Media del Viento (km/h)	-0.002132	0.033327
Humedad Relativa (%)	0.002412	-0.022644
Horas-Luz (h)	0.039585	-0.144829
Precipitación (mm)	0.000614	0.000416

8. Índice de Consumo de Diesel en Tiro con Tractor

Comportamiento del Ajuste de los Residuos a la Distribución Normal



Características del Modelo Ajustado:

Punto de Ruptura: 0.013235		
Varianza Explicada: 91.78 %		
Nro. de casos válidos= 25		
Valor de las Constantes para:	Antes	Después
Constante Adimensional	-0.059111	1.405967
Temperatura Mínima (°C)	0.000376	0.0163
Velocidad Media del Viento (km/h)	-0.000279	-0.006635
Humedad Relativa (%)	0.000667	-0.015701
Horas-Luz (h)	0.0001618	-0.045702
Precipitación (mm)	-0.000048	-0.000322

A continuación se resumirán en una tabla, los valores del por ciento de Varianza Explicada, de los modelos ajustados para cada entidad y por cada uno de los índices de consumo estudiados.

CAI	PT	S	CT	OAT	CM	AT	R	AM	TCT
Argentina	77.6 (33)	82.7 (31)	83.7 (34)	99.3 (33)	NA	96.7 (27)	NA	NA	NA
Agramonte	85.6 (38)	75.7 (38)	89.6 (44)	NA	97.0 (21)	93.8 (43)	NA	97.2 (21)	99.0 (21)
Céspedes	83.9 (30)	98.3 (27)	99.1 (42)	85.5 (41)	87.6 (28)	75.2 (27)	83.3 (37)	NA	91.7 (25)
Siboney	73.6 (44)	71.0 (47)	82.5 (48)	73.3 (48)	92.8 (21)	NA	NA	94.2 (21)	97.4 (15)
Sierra C.	69.1 (34)	NA	99.1 (35)	98.3 (33)	99.8 (15)	NA	99.3 (22)	NA	92.9 (15)
Tot. Prov.	87.9 (26)	81.5 (35)	73.5 (34)	83.4 (33)	NA	92.5 (35)	80.7 (30)	NA	NA

Entre paréntesis se especifica el total de casos válidos que realmente intervinieron en el análisis. Se resaltan en negrita aquellos casos que aparecen con mayor calidad en el ajuste dado por factores tales como: significativo valor de la Varianza Explicada, número de casos válidos, así como nivel de ajuste de los residuos a la distribución de probabilidad normal. Donde, significa que no fue analizado debido a la insuficiente cantidad de casos adecuados.

Independientemente de la entidad estudiada, la variable que mayor contribución realiza en los modelos es la de Horas-Luz, seguida por la Velocidad Media del Viento, y las Temperaturas, las cuales, en dependencia del tipo de actividad analizada y lugar, puede participar de manera particular en una de sus modos

(máxima, mínima, o media), o de manera combinada entre ellas. La falta de uniformidad en el tipo de signo (positivo o negativo), ya sea tanto para cada una de las ramas del modelo (Antes o Después del Punto de Ruptura), indica que, aunque se esté en presencia de un ajuste con suficiente nivel de calidad, sin embargo, hay una fuerte dependencia del valor en particular del índice de consumo de que se trate y el rango en que se mueve. Por otro lado, la falta de uniformidad de las magnitudes y signos, incluso dentro de una misma rama del modelo pero con distintas entidades, pueden acusar hacia el peso que tenga el conjunto de factores que caracterizan a cada una de ellas, comenzando desde las características de la maquinaria agrícola, su estado, forma de explotación, mantenimiento, etc., hasta cuestiones tales como el tipo de tierras de cultivo y variedades de caña a considerar, no obstante, a partir de los indicadores de ajuste de los modelos, es posible discernir en cuáles casos corresponde hacer mayor énfasis en los estudios futuros. Los valores de Varianza Explicada en los modelos aceptados, oscilan entre 71.0 y 99.1 %, lo cual está dentro del rango comúnmente obtenido en algunos estudios realizados sobre aplicaciones agrometeorológicas por otros autores (Fuentes et al., 2003; Confalone et al., 2003; Alvarez et al., 2003).

A pesar de ello, se pueden resumir cuestiones de comportamiento general para cada índice analizado:

♦ **Índice de Consumo en Preparación de Tierra:**

La variable de mayor contribución es la de las Horas-Luz, seguida de la temperatura, aunque la combinación Temperatura Media-Horas-Luz tiende a predominar en importancia, y cuando el predominio está encabezado por la Temperatura Máxima, entonces se incorporan en importancia las Horas-Luz y la Velocidad del Viento.

♦ **Índice de Consumo en Siembra:**

La variable predominante por importancia es la de Horas-Luz, y después le siguen la Temperatura (fundamentalmente la Media y/o Máxima), y la Velocidad del Viento.

◆ **Índice de Consumo en Cultivos Totales**

Se corrobora, al igual que en los casos anteriores, el efecto predominante de las Horas-Luz, y la Velocidad del Viento, aunque en algunos casos, aumentan su contribución los coeficientes asociados a las variables Temperatura Media y Humedad Relativa.

◆ **Índice de Consumo en Otras Atenciones Culturales**

Aquí resaltan también por su importancia en la contribución, la Horas-Luz, seguida de la velocidad del Viento, y la temperatura (en cualquiera de sus tres variantes; Mínima, Media, Máxima), resultando de menor importancia la Humedad Relativa, y aún mucho menor, la Precipitación.

◆ **Índice de Consumo en Corte Mecanizado**

De manera común a los índices anteriores, las Horas-Luz tienen el mayor aporte al modelo, seguidas por la velocidad del Viento. El aporte del resto de las variables resulta muy modesto en comparación con las primeras.

◆ **Índice de Consumo en Acondicionamiento de Tierra**

Este índice, desde las características de bajo tamaño de muestra y poca confiabilidad de los ajustes, resultó uno de los casos más comprometedores, conduciendo a que, tan sólo se pudieron ajustar modelos en el caso de dos CAIs, y para el promedio provincial, aunque en realidad, los de mayor confiabilidad resultan ser los correspondientes al CAI Agramonte, y al promedio provincial.

◆ **Índice de Consumo en Riego**

La contribución de las variables al modelo resulta similar a los casos anteriores, aunque sólo se obtienen modelos aceptables para el CAI C.M. Céspedes, y el promedio provincial.

◆ **Índice de Consumo en Alza Mecanizada y en Tiro con Tractor**

Resulta casi imposible obtener ajustes para estos índices, ya que si bien desde el punto de vista del nivel de Varianza Explicada, los resultados pueden ser satisfactorios, sin embargo, el número de casos válidos procesados resulta muy bajo, lo que conspira sensiblemente contra la calidad del modelo.

Conclusiones

- ◆ A pesar de la heterogeneidad existente entre los datos de origen, dadas las diferentes entidades incluidas en el estudio, los Índices de Consumo que tuvieron más incidencia en cuanto a la posibilidad de ser modelados estadísticamente con ajuste apropiado en base al valor de la Varianza Explicada , se encuentran los correspondientes a las actividades de: Cultivos Totales (4 entidades), y a las de Otras Atenciones Culturales (4 entidades).
- ◆ La entidades en las que, de manera general, se obtienen ajustes de modelos, con calidad adecuada, en mayor cuantía de Índices de Consumo, son las de los CAI Agramonte (4), y CAI Siboney (4).
- ◆ Se ha probado que es posible obtener modelos estadísticos de aceptable nivel de ajuste, para relacionar la dependencia de los índices de consumo de combustible diesel, en función de las variables climáticas seleccionadas.

Bibliografía

- Alvarez R., Delgado C., Aenlle L. Alvarez L. (2003). Efecto de la temperatura del aire, la humedad relativa y el viento sobre la explotación comercial de aves y su mitigación. Memorias del CONGREGMET X, La Habana, www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Agrometeorologia/Agrometeorologia.htm.
- Breslow P.B., Sailor D.J. (2001). Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States. Renewable Energy.
- Confalone A., Villacampa Y., Cortés M., Navarro M. (2003). Modelo agrometeorológico del crecimiento de soja en función de la temperatura del aire y de la radiación fotosintéticamente activa. www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Agrometeorologia/Agrometeorologia.htm.
- DOE (2003). International Energy Outlook 2002. En el sitio web: www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.
- Fuentes Pérez P., Figueroa Izquierdo A., Pérez Valdés E., Planas Lavie A., Malagón H. (2003). La Humedad del suelo y su relación con el rendimiento del cacao en Baracoa, Cuba, en el sitio web: www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Agrometeorologia/Agrometeorologia.htm
- IPCC (1996). Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. 879 pp. Cambridge University.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. En el sitio web: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/.
- OLADE-SIEE (2002). Producción Mundial de Energía 2001. En el sitio web: www.olade.org.ec/sieehome/estadisticas/prod_mundial.html
- Sailor D.J., Muñoz R. (1997). Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA- Methodology and results for eight states. Energy, vol. 22, N° 10, pp. 987-998.
- Sailor D.J., Rosen J.N., Muñoz J.R. (1998). Natural gas consumption and climate: A comprehensive set of predictive state-level models for the United States. Energy, vol. 23, N° 2, pp. 91-103.